

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

**Modelování dostupnosti vody v krajině
v GIS**

Diplomová práce

Bc. Jan VESELÝ

Vedoucí práce doc. RNDr. Vilém PECHANEC, Ph.D.

Olomouc 2019
Geoinformatika

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá modelováním dostupnosti vody v krajině v GIS. V první části práce popisuje nástroje v dostupných softwarech GIS. Dále se práce zabývá aplikací indexů meteorologického sucha. Mezi ně patří Langův dešťový faktor, Minářova vláhová jistota, Standardizovaný srážkový index a Standardizovaný evapotranspirační index. V poslední části je použita metoda CN křivek v lokálním měřítku povodím Dřevnice. Pro výpočet indexů meteorologického sucha i metodu CN křivek byly zvoleny datové sady Worldclim a datová sada od CzechGlobe. Výsledky napříč použitými vstupními daty i metodami jsou porovnány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sucho; CN křivky; Dostupnost; Voda; Index;

Počet stran práce: 62

Počet příloh: 2 (z toho 1 volná a 1 elektronická)

ANOTATION

This diploma thesis is focused on modelling water availability in landscape in GIS. In the first part it describes tools in common GIS softwares. Then it deals with application of chosen indices of meteorological drought. Those are Langs rain factor, Minars moisture certainty, standardized precipitation index and standardized evapotranspirational index. The last case of study is CN curve method in local measurement of catchment area Dřevnice river. To calculate all variables there were used two datesets, one is Worldclim data and the second one is data from Czechglobe institute. Results inbetween chosen methods of water/drought modelling are compared together and also depending what input data set was used.

KEYWORDS

Drought; CN curves; Availability; Water; Index;

Number of pages: 62

Number of appendixes: 2

Prohlašuji, že

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu,
- jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb.
- autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),
- souhlasím, aby jeden výtisk diplomové práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,
- souhlasím, že údaje o mé diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,
- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- použít výsledky a výstupy mé diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Jan Veselý

Podpis:

Děkuji vedoucímu práce doc. RNDr. Vilémovi Pechancovi Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce a svojí rodině za možnost uskutečnění studia na univerzitě Palackého v Olomouci.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan VESELÝ**
Osobní číslo: **R170120**
Studijní program: **N1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika**
Název tématu: **Modelování dostupnosti vody v krajině v GIS**
Zadávající katedra: **Katedra geoinformatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je modelovat dostupnost vody v krajině. Modelování bude provedeno ve třech rovinách a) aplikací algoritmů dostupných v produktech ArcGIS, QGIS a SAGA, b) aplikací vyvíjené modifikace metodiky CN křivek a c) a aplikací indexů pro výpočet meteorologického sucha v prostředí GIS. Ve finále budou dosažené hodnoty vzájemně porovnány a interpretovány. Zájmovým územím bude v lokálním měřítku povodí Dřevnice (JV Morava) a v regionálním měřítku území ČR.

Student vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O diplomové práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad Voženílek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI. Povinnou přílohou práce bude poster formátu A2.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **max. 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Brázdil, R., Trnka, M. a kolektiv (2015): Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 s. ISBN 978-80-87902-11-0.

Djokic, D., Maidment, D.R. (2000): Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with GIS. Redlans: ESRI Press. 232 pp.

Guerra C. A et al. An assessment of soil erosion prevention by vegetation in Mediterranean Europe: Current trends of ecosystem service provision. Ecol. Indicator 60. 2016

Singh, V. P., fiorentino, M. eds. (1998): Geographical information systems in hydrology. Water Science and technology Library. WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY LIBRARY 26 Kluwer Academic Publishers 464 pp.

Tomczyk, A., M., A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland , Applied Geography 31 (2011) 339-351

<http://www.crwr.utexas.edu> - webové stránky Center for Research in Water Resources a jejich dokumenty např. Terrain Analysis.

Sborník Student GIS projekt 2017
webové stránky uvedený programů
indexované databáze

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.**
Katedra geoinformatiky

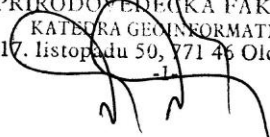
Datum zadání diplomové práce: **16. června 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **5. května 2019**

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

L.S.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEONFORMATIKY
17. listopadu 50, 771 46 Olomouc


prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 2. února 2018

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 CÍLE PRÁCE.....	11
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	12
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	16
3.1 Definice sucha.....	16
3.2 Dělení sucha	17
3.3 Příčiny vzniku sucha.....	18
3.3.1 Synoptické příčiny.....	18
3.3.2 Vliv klimatotvorných a cirkulačních faktorů	19
3.3.3 Změny ve využívání krajiny	19
3.4 Hodnocení a vyjádření sucha	19
3.4.1 Langův dešťový faktor	20
3.4.2 Minářova vláhová jistota.....	21
3.4.3 Standardizovaný srážkový index	21
3.4.4 Palmerův index závažnosti sucha	22
3.4.5 Palmerův Z-index	24
3.4.6 Standardizovaný srážkový evapotranspirační index.....	25
3.5 Základní hydrologické charakteristiky	26
3.6 Metoda CN křivek	28
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	30
4.1 Aplikace algoritmů dostupných v programech SAGA, QGIS a ArcGIS	30
4.1.1 SAGA.....	30
4.1.2 QGIS.....	33
4.1.3 ArcGIS	33
4.1.4 Porovnání dostupných nástrojů	35
4.2 Aplikace indexů meteorologického sucha.....	37
4.2.1 Langův dešťový faktor	37
4.2.2 Minářova vláhová jistota.....	40
4.2.3 Standardizovaný srážkový index	44
4.2.4 Standardizovaný evapotranspirační index.....	45
4.3 Aplikace vyvíjené modifikace metody CN křivek	47
4.3.1 Vstupní data	47
4.3.2 Výpočet.....	50
5 VÝSLEDKY	53
5.1 Výsledky porovnání indexů	53
5.2 Výsledky porovnání s metodou CN	57
6 DISKUZE	59
7 ZÁVĚR	60
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
HSP	Hydrologická skupina půd
LDF	Langův dešťový faktor
LVS	Lesní vegetační stupeň
PDSI	Palmer drought severity index
PLO	Plošné lesní oblast
SPEI	Standardised precipitation evapotranspiration index
SPI	Standardised precipitation index
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesa

ÚVOD

Lidé byli vždy svázáni s přírodou, s jevy a procesy v ní probíhajícími. Jednou ze základních složek na Zemi je voda. Ta se podílí na vývoji krajiny, ovlivňuje její vodní režim, který by měl být vyvážený. Jakékoliv narušení optimálních vztahů vodního režimu v krajině vede k negativním dopadům na krajinu, její vlastnosti i možnosti jejího využívání. V posledních letech se začínají projevovat důsledky nevhodného využívání krajiny, jejichž projevy jsou povodně, sucho, erozní procesy, narušení stability ekosystémů apod. Příčinou těchto problémů mohou být jak v celosvětovém měřítku často diskutované globální oteplování, tak v regionálním měřítku nevhodné využití půdy. Např. pěstování ekonomicky výhodných plodin, holé pole po jejich sklizni bez snahy pěstovat meziplodiny, ubývající rozloha přírodní krajiny apod. I tyto aspekty mohou mít vliv na retenční schopnost krajiny, která ovlivňuje vyrovnaní odtokových poměrů a napomáhá ke snižování kulminačních průtoků. Nízká retenční schopnost krajiny znamená, že půda není schopna udržet vodu, která konkrétně do České republiky nepřichází v jiném stavu, než jsou srážky. Důsledkem toho jsou např. povodně při extrémních srážkách, nebo sucho při jejich nedostatku.

Cílem této diplomové práce je modelování dostupnosti vody při použití metod hodnocení meteorologického sucha, modifikací metody CN křivek a nástrojů dostupných v geoinformačních softwarech, datových zdrojů a jejich porovnání pro pozdější použití.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je modelovat dostupnost vody v krajině. Modelování bude provedeno ve třech rovinách:

- a) aplikací algoritmů dostupných v produktech ArcGIS, QGIS a SAGA,
- b) aplikací vyvíjené modifikace metodiky CN křivek,
- c) aplikací indexů pro výpočet meteorologického sucha v prostředí GIS.

Ve finále budou dosažené hodnoty vzájemně porovnány a interpretovány. Zájmovým územím bude v lokálním měřítku povodí Dřevnice (JV Morava) a v regionálním měřítku území ČR.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Použité metody

Mezi metody použité v této práci patří extrakce a sběr dat, předzpracování dat, filtrování dat. Mezi hlavní použité metody celé práce patří především operace geoprocesingu a dílčí postupy vedoucí k výpočtu jednotlivých metod. Vizualizace výsledků byly provedeny metodami tematické kartografie.

Sběr a extrakce dat

Meteorologická data obsahující hodnoty měsíčních úhrnů srážek a průměrných měsíčních teplot byla stažena ze tří využitých zdrojů. První z nich jsou denní historická data od Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ) dostupná na adrese: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data>.

Druhým zdrojem tematických dat je Worldclim verze 2.0 dostupné z <http://worldclim.org/version2>. A poslední používaná tematická data pochází z Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. (Czechglobe), která nejsou veřejně dostupná a byla poskytnuta vedoucím práce.

Dále byla stažena data se silniční sítí zArcČR500 ve verzi 3.3, dostupná na adrese <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500>. Jedná se o digitální vektorovou geografickou databázi České republiky. Databáze je vytvořena v podrobnosti měřítka 1 : 500 000. Data vznikla ve spolupráci ARCDATA PRAHA, s.r.o., Zeměměřického úřadu a Českého statistického úřadu a jsou distribuována zdarma.

Dalšími daty jsou data veřejného registru půdy LPIS, které primárně obsahují evidenci využití zemědělské půdy a vznikla na základě zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství na přelomu let 2003 a 2004 v měřítku 1:10 000 dostupné z <http://eagri.cz/public/web/mze/farmer/LPIS/>. Dále byla využita data OpenStreetMap (dále OSM) dostupná pomocí nástroje QuickOSM v softwaru QGIS. Data bonitovanými půdně ekologickými jednotkami (dále BPEJ) původem z Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) pro určení hodnot hydrologických skupin půd byla obdržena vedoucím práce a taktéž byla obdržena data vytvořena Ústavem Pro Hospodářskou Úpravu Lesů (dále ÚHÚL) obsahující informace o přírodních lesních oblastech (PLO)

Předzpracování dat

Při předzpracování tematických dat bylo nutné získat hodnoty měsíčních úhrnů srážek a průměrných měsíčních teplot jako hodnoty vstupující do dalších výpočtů. Ostatní data byla především využita pro tvorbu kombinované vrstvy lesních přírodních oblastí a lesních vegetačních stupňů, nebo pro tvorbu vrstvy landuse při studiu povodí Dřevnice. Dále bylo nutné sjednotit souřadnicové systémy u prostorových dat z různých datových zdrojů. To proto, aby mohly být provedeny prostorové operace korektním způsobem.

Geoprocesing

K velmi důležité části této diplomové práce bylo zařazení a použití operací s prostorovými daty obecně označovanými jako *geoprocesing*. Mezi základní operace geoprocesingu byly použity následující – *Identity, Union, Merge, Dissolve, Buffer, Clip* a další.

Použitá data

Tab. 1 Použitá data (zdroj: autor)

Název	Časové/ prostorové rozdílení	Zdroj služby	Přístup k datům	Datum pořízení dat
Denní historická meteorologic ká data	1961-2017	ČHMÚ	www.portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data#	2017
Worldclim 2.0	1970-2000	Worldclim	www.worldclim.org/version2	2016
Klimatická data	1981-2010	CzechGlobe AV ČR	od vedoucího práce	2016
ArcČR 500	1:100 000	ARCDATA Praha	https://www.arcdata.cz/produkty/geografickadata/arccr500	2014
LPIS	1 : 10 000	Ministerstvo zemědělství	http://eagri.cz/public/web/mze/farmer/LPIS/	2004
ÚHÚL		Ústav pro hospodář- skou úpravu lesa	od vedoucího práce	
BPEJ	1 : 10 000	VÚMOP	od vedoucího práce	2018

Použité programy

ArcGIS

ArcGIS je centrální aplikace ArcGIS for Desktop. Software ArcGIS byl vytvořen společností Esri. Tento software nabízí komplexní nástroje pro prostorovou analýzu, kartografii a správu prostorových dat. Diplomová práce byla vytvářena ve verzi ArcGIS 10.4. Software byl využit pro užití nástroje geoprocessingu mezi prostorovými daty.

URL: (<http://www.esri.com/software/arcgis>)

QGIS

QGIS je Open source geoinformační systém pod licencí GNU General Public License. Je vytvořený Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Nabízí nástroje pro prostorovou analýzu a zpracování dat. Při zpracování diplomové práce byla využita verze 3.4.4.

URL: (<https://www.qgis.org/en/site/>)

SAGA

SAGA celým názvem System for Automated Geoscientific Analyses je geoinformační systém vytvořený výzkumníky z katedry fyzické geografie v Göttingenu. Opět se jedná o Free Open Source Software. Při vypracování diplomové práce byla využita verze 7.1.1.

URL: (<http://www.saga-gis.org/en/index.html>)

Microsoft Word, Excel

Tento software ve verzi 2010 sloužil k vytváření tabulek a zpracování textu.

URL: (<https://products.office.com/en-us/office-2010>); Licence: MSLT (Microsoft Software License Terms)

IrfanView

Software IrfanView ve verzi 4.38 byl použit k základním grafickým úpravám.

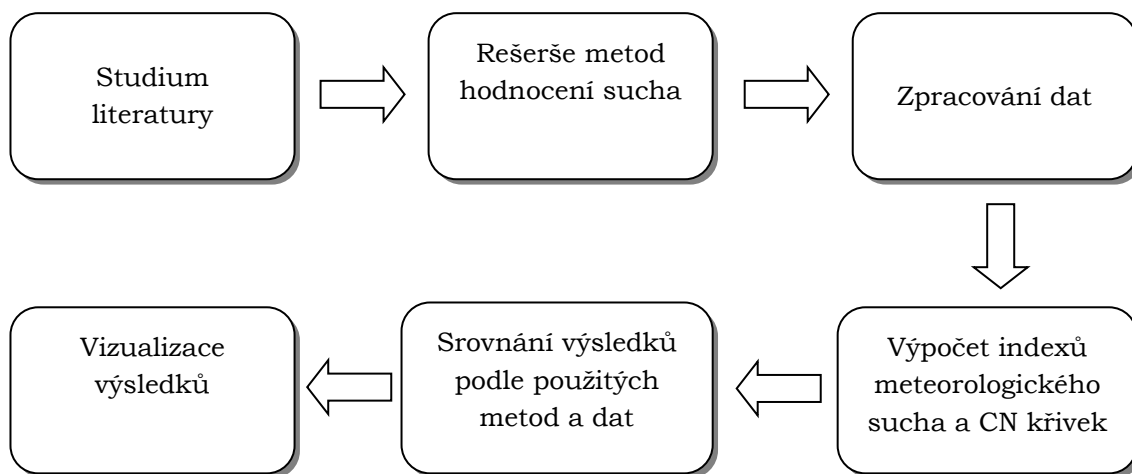
URL: (<http://www.irfanview.com/>); Licence: EULA (End-User-License-Agreement)

Postup zpracování

V počátečních fázích bylo nutné nastudovat dané téma a zjistit o něm co nejvíce potřebných informací. Tyto informace byly následně využity při praktických úkonech vedoucích k dosažení jednotlivých výsledků. Teoretické znalosti jsou shrnuty v kapitole 3.

Prvním krokem bylo získání potřebných datových sad, se kterými se pracovalo. V rámci tematických dat o teplotách a srážkách na území České republiky bylo využito zdrojů uvedených výše v tabulce 2.1 popisující použitá data. Po získání datových sad bylo dalším krokem je vhodně optimalizovat.

Po zmíněném preprocessingu dat byl postupně proveden výpočet indexů meteorologického sucha, jejichž výsledky byly následně srovnávány. Dále bylo zapotřebí vytvořit datové vrstvy vstupující do modifikace metody CN křivek. Těmito vrstvami jsou: vrstva hydrologických skupin půd, landuse a srážková data. Následně byly výsledky jednotlivých metod mezi sebou porovnány překryvnými operacemi a graficky.



Graf 1 – Diagram postupu práce. (zdroj: autor)

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Sucho je jedním z extrémních jevů počasí. Druhým opačným jevem je povodeň. Oba tyto jevy se vyskytují na našem území v různých časových intervalech. Jejich studiem se zabývají především vědy jako hydrologie, meteorologie, klimatologie aj. Výskyt těchto extrémních jevů způsobuje v obou případech negativní následky. Ty se mohou objevit v různých odvětvích národního hospodářství, např. zdraví obyvatel, majetek, zemědělství apod.

V rámci terminologie je důležité rozlišovat pojem sucho a suchost (aridita). Zatímco sucho je jev, který souhrnně znamená nedostatek vody, suchost neboli aridita vyjadřuje vlastnost podnebí. Aridní podnebí je charakteristické neúměrně velkým výparem vůči srážkovým úhrnům. Tento dlouhodobý stav počasí je pro určité části světa typický (např. pouště) a je podmíněn např. primární cirkulací atmosféry (Sobišek a kol., 1993, Rožnovský, 2014).

3.1 Definice sucha

„Sucha jsou přírodním hazardem, který postihuje nejvíce lidi, unikátní jsou v tom, že se mohou vyskytnout ve všech podnebných pásech a ve všech nadmořských výškách“ (Trnka, 2003).

Jednou z mnoha dalších definic může být i Kakosova definice: „sucho – velmi neurčitý, avšak v meteorologii často užívaný pojem, znamenající v zásadě nedostatek vody v půdě, rostlinách nebo i v atmosféře. Jednotná kritéria pro kvantitativní vymezení sucha neexistují s ohledem na rozmanitá hlediska meteorologická, hydrologická, zemědělská, bioklimatologická a celou řadu dalších i s ohledem na škody v různých oblastech národního hospodářství. Kvantitativní vymezení stupně abnormality daného sucha pomocí různých klimatologických indexů a jeho srovnání s předcházejícími případy (např. zda jde o případ sucha opakující se v průměru jednou za n-let apod.) se pravděpodobně nikdy objektivně nepodaří zjistit pro složitost vzájemného působení meteorologických, hydrologických, agrotechnických a dalších faktorů. K hodnocení a chápání sucha v celozemském měřítku značně přispěla Koppenova klasifikace podnebí (1900). Z dalších schémat četných klasifikací od té doby navržených zasluhuje zvláštní zmínku Thornthwaiteova klasifikace podnebí (1948), ve které se rozlišují tři hlavní druhy sucha:

- a) stálé sucho nejsušších klimatických pásem;
- b) sezonní sucho některých klimatických pásem a v oblastech monzunového podnebí;
- c) nahodilé sucho v důsledku nepravidelných a proměnlivých četností a intenzit výskytu srážek“ (Sobišek, 1993).

Jinou definici nabízí H. J. Critchfield: „Sucho je deficit, který nastává, když půdní vlhkost nestačí pokrýt požadavky půdní potenciální evapotranspirace. Můžeme rozlišit tři skupiny sucha:

- a) stálé sucho spojené s aridními podnebími;
- b) sezónní sucho, které se vyskytuje v podobě zřetelných každoročních obdobích suchého počasí;
- c) sucho způsobené proměnlivostí srážek“ (Critchfield, 1984).

Obě výše uvedené definice se částečně shodují, především pak v rozdělení sucha na stálé, sezónní a sucho způsobené proměnlivostí srážek. Tento pohled zohledňuje jednu důležitou vlastnost sucha a tou je trvání. Dalšími parametry, kterými lze sucho popsat jsou: intenzita sucha, účinky a dopady uvádějící závažnost sucha, počátek a konec sucha. Avšak dva poslední parametry jsou obtížně určitelné.

V obecné rovině je sucho velmi neurčitý pojem a do jeho definic vstupuje velké množství faktorů, avšak většina autorů zabývajících se touto terminologií rozdělují sucho do 4 základních typů uvedených v Kakosově definici uvedené výše.

3.2 Dělení sucha

Jak již bylo zmíněno výše, sucho bývá často rozděleno v různých definicích odlišně. Jedním z rozdělení podle Kakosovy definice je rozdělení na sucho: meteorologické, hydrologické, agronomické a socioekonomické.

Meteorologické sucho

Tento druh sucha je nejčastěji hodnocen z hlediska časových a prostorových srážkových poměrů vzhledem k dlouhodobým srážkovým normálům pro konkrétní místo a roční dobu (Sobišek a kol., 1993). Meteorologické sucho bývá hodnoceno také na základě dalších veličin obecně zesilujících výpar. Těmi jsou např. teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru, sluneční záření aj. (Blažek, 2006).

Hydrologické

Hydrologické sucho definované pro povrchové toky určitým počtem za sebou jdoucích dní, týdnů, měsíců i roků s výskytem relativně velmi nízkých průtoků vzhledem k dlouhodobým měsíčním či ročním normálům. Sucho hydrologické se vyskytuje zpravidla ke konci déle trvajících období sucha (Sobišek, 1993). V případě tohoto druhu sucha se hodnotí zásoba vody ve vodních nádržích a velikost odtoku z povodí, který kromě srážek závisí také na geomorfologických, geologických, půdních a vegetačních vlastnostech. Hydrologické sucho negativně ovlivňuje hydroenergetiku, zásobování pitnou vodou, vodní dopravu, rekreaci aj. (Blažek, 2006).

Agronomické sucho

Agronomické sucho je projevem sucha v zemědělství. Právě tento sektor národního hospodářství bývá první, na kterém se sucho projeví. V tomto případě se dá agronomické sucho označit jako dopad sucha meteorologického. Tento druh sucha

nastává ve chvíli, kdy dostupné množství vody v půdě v daném čase není schopno pokrýt vláhovou potřebu zemědělských kultur. Kromě předcházejícího meteorologického sucha jsou rozhodující také některé fyzikální a biologické vlastnosti půdy včetně úrovně techniky, která se v dané oblasti používá aj. Požadavek rostlin na vláhu závisí na biologických charakteristikách konkrétních druhů, na jejich fenologických fázích, stáří apod. (Blažek, 2006). Vedle zemědělských plodin jsou zasažené také lesní porosty.

Socioekonomické sucho

Tento druh sucha nastává ve chvíli, kdy výskyt sucha má negativní dopady na celou společnost a její hospodářské aktivity. Kromě již zmíněných dopadů na zemědělství může být negativně ovlivněn např. turistický ruch, průmyslová produkce, výroba elektrické energie, dodávky pitné vody aj. (Brázdil, 2015).

Kromě výše zmíněných čtyř základních druhů sucha bývají někdy rozlišovány ještě další dvě kategorie: sucho půdní a fyziologické. V případě půdního sucha hovoříme o nedostatku vody v kořenové vrstvě půdního profilu. Půdní sucho se pak stává spouštěcím mechanismem sucha agronomického (Středová, 2013).

3.3 Příčiny vzniku sucha

Příčiny vzniku sucha se dají rozdělit na dvě kategorie – přirozené a antropogenní. Přirozené příčiny sucha mají souvislost s procesy v atmosféře. Za antropogenní příčiny označujeme ty, které souvisí s lidskou činností a zásahy v krajině či přispíváním ke změně klimatu. Podle úrovně dopadu můžeme antropogenní příčiny rozdělit na globální (např. zesílení skleníkového efektu) a lokální (souvisí především se změnami ve využívání krajiny). Avšak není jisté možné příčiny vzniku sucha rozdělit striktně do těchto dvou skupin. Převážně se jedná o kombinaci obou kategorií.

3.3.1 Synoptické příčiny

Synoptické příčiny vychází z poznatků synoptické meteorologie. Jedná se o jeden z oborů meteorologie, který se ve svém studiu zaměřuje na atmosférické procesy mikrometeorologického měřítka. Jedná se tedy o současné pozorování atmosférických dějů na rozsáhlém území. Výstupem synoptické meteorologie jsou data, která umožňují předpověď počasí (Sobíšek, 1993).

Suché počasí vždy přináší vysoký tlak vzduchu, v němž nevzniká oblačnost, a tak nastává počasí bez srážek a s četným slunečním svitem. Takové situace jsou v létě a obecně v teplé části roku provázeny přílivy teplého nebo velmi teplého vzduchu od východu, jihovýchodu nebo jihu s výskytem vyšších nebo vysokých teplot vzduchu. S tímto rázem počasí souvisí nízká relativní vlhkost, a tedy vysoká evapotranspirace. Dle analýzy synoptického vývoje v extrémně suchých letech nad Evropou je jasně vidět, že za suché epizody je odpovědná Azorská tlaková výše, která je stabilním tlakovým útvarům v oblasti Azor a tato zasahovala v uvedených letech do centrální Evropy svým hřebenem. V dubnu a květnu je hřeben této výše méně patrným, naopak je velmi významný v září. Nízký tlak vzduchu se srážkově významnou oblačností se nachází často nad Severním mořem a Skandinávií a na východě Středomoří. Za takového rozložení tlaku vzduchu se nad centrální Evropou vyskytuje tedy stabilní nebo téměř stabilní anticyklonální situace (Brázdil, 2015).

3.3.2 Vliv klimatotvorných a cirkulačních faktorů

Z klimatotvorných faktorů mají vliv na výskyt sucha: přirození vnější činitelé – úroveň solární a vulkanické aktivity; lidská činnost – radiační působení skleníkových plynů a aerosolů; velkoprostorové vnitřní oscilace klimatického systému ovlivňující oblast Evropy – Severoatlantská oscilace, Atlantská multidekádová oscilace a Jižní oscilace (Brázdil, 2015).

3.3.3 Změny ve využívání krajiny

Schopnost krajiny zadržet vodu je výrazně závislá na způsobech jejího využití. A ovlivňuje výskyt sucha tím, že voda, která přibyla v povodí, byla zadržena a nasýtila půdní profil pro potřeby vegetace. Změny ve využívání krajiny je možno sledovat více způsoby. Jedním z nich je např. analýza dat databáze LUCC Czechia, která je založena na evidenci Katastrálního úřadu a jeho archivu. Hlavním zdrojem dat této databáze je Databáze dlouhodobých změn využití ploch (landuse) Česka (1845-2010) (LUCC Czechia, 2015).

Charakteristickými rysy přírodních koryt jsou: velká členitost, malá průtoková kapacita, mělkost, široké potoční pásy atd. Při technických úpravách se koryta prohlubovala, napřimovala, opevňovala a vytvářely se pravidelné geometrické tvary. Prostřednictvím technických úprav vodních toků se získávala zemědělská půda v nivách, rozšiřovaly se zastavitelné plochy při současné protipovodňové ochraně, splavňovaly se vodní toky nebo se využívaly pro energetiku. Se změnami vodního režimu se dále výrazně snížila rozloha lužních lesů, zaplavovaly se některé údolní úseky toků z důvodu výstavby vodních nádrží pro vodohospodářské nebo elektrárenské účely (Brázdil, 2015)

3.4 Hodnocení a vyjádření sucha

Nejobecnější charakteristika podnebí se provádí pomocí tzv. indexů. Klimatologickým indexem rozumíme veličinu vypočtenou pomocí empirických vzorců zohledňující vazby několika ekologických činitelů, např. srážek, evapotranspirace, záření, teploty a vlhkosti vzduchu, síly a směru větru, délky vegetačního období aj. Hodnocení sucha vychází z definic sucha a snaží se postihnout projevy sucha exaktně. Některé metody hodnocení sucha jsou formulovány jako definice, ale jejich vyjádření je exaktní a lze je použít i pro hodnocení opačných extrémů.

Metody hodnocení sucha mají splňovat několik kritérií (Keyantash, 2002):

- a) mohutnost – do hodnocení by mělo vstupovat dostatečné množství odpovídajících meteorologických prvků (fyzikálních veličin);
- b) poddajnost – výpočty by měly být jednoduché;
- c) průhlednost – výsledek by měl být dobře interpretovatelný i veřejnosti;
- d) náročnost – i když je zjevně v rozporu s předchozími dvěma body, zdůrazňuje nezbytnost kvality dat a možnost použít náročné metody, pokud je to příhodné;
- e) roztažitelnost – odpovídá z části poddajnosti, ale zdůrazňuje rozšiřitelnost v čase;
- f) rozměrovost – je součástí průhlednosti a zdůrazňuje fakt, že výsledná hodnota by měla mít odpovídající jednotky.

J. Keyantash a J. A. Dracup se nebrání ani dalšímu rozšíření výše uvedeného výčtu, takže lze doplnit, rozvinout nebo zdůraznit:

- g) citlivost – významná vlastnost nejen ve vztahu k hodnotám indexů a jejich schopnosti reagovat bez odezvy, ale i v rozlišení v čase a v prostoru;
- h) přenositelnost a porovnatelnost – mezi různými místy, získané výsledky je možné využít pro rajonizace, není potřeba měnit intervaly pro hodnocení. Pokud se mluví o indexech (ukazatelích), pak se obecně jedná o statistický podíl, pomocí něhož se srovnávají hodnoty dané veličiny (individuální index) nebo soubory různých veličin (souhrnné indexy), obvykle v průběhu času. Hodnota ve jmenovateli zlomku se nazývá základ indexu. Hodnota indexu se obvykle vyjadřuje v procentech (Bakytová, 1975).

Meteorologie používá ve své terminologii pojem klimatologický index, kterým rozumí „...veličinu vypočtenou obvykle na základě empirické formule sloužící k podrobnějšímu charakterizování některých vlastností podnebí. Patří k nim například pluviometrický koeficient, dešťový faktor, index suchosti, vláhová jistota, srážková účinnost, hydrotermický koeficient, index vlhkosti, Mayerův kvocient a Končekův index zavlažení...“ (Sobišek, 1993).

Mezi meteorologické indexy hodnocení sucha použité dále v práci patří: Langův dešťový faktor, Minářova vláhová jistota, Končekův index zavlažení, Standardizovaný srážkový index, Palmerův index závažnosti sucha a Standardizovaný srážkový evapotranspirační index.

3.4.1 Langův dešťový faktor

Langův dešťový faktor (dále LDF) vyjadřuje podmínky přirozeného zavlažení krajiny, a to vztahem mezi atmosférickými srážkami a teplotou vzduchu (Sobišek, 1993):

$$LDF = R/t, \quad \text{kde:} \quad (1)$$

LDF = Langův dešťový faktor,

R = průměrný roční úhrn srážek v mm,

t = průměrná roční teplota vzduchu ve °C.

Tab. 2 – Interpretace indexu LDF. (zdroj: Sobišek, 1993)

Hodnota indexu	Slovní interpretace
<60	Velmi suchá oblast
61-70	Suchá oblast
71-80	Oblast s vyrovnanou bilancí
81-100	Vlhká oblast
>100	Velmi vlhká oblast

Hodnoty Langova dešťového faktoru a na základě nich rozdělené území do oblastí je znázorněno v tabulce 2. Nevýhodou této metody je, že nebere ohled na rozdělení srážek a teploty v průběhu roku, což může vést k tomu, že při používání

ročních hodnot dostaneme stejné dešťové faktory, i když klimatický režim daných oblastí je zásadně odlišný (Konček, 1955).

3.4.2 Minářova vláhová jistota

Minářova vláhová jistota charakterizuje vláhové poměry daného místa. Vychází z Minářova koeficientu J , jenž je určen vztahem (Sobišek, 1993):

$$J = (R - 30(t + 7)) / t, \text{ kde: } \quad (2)$$

J = Minářova vláhová jistota

R = průměrný roční úhrn srážek v mm,

t = průměrná roční teplota vzduchu ve °C.

Tab. 3 – Interpretace indexu Minářova vláhová jistota.
(zdroj: Sobišek, 1993)

Hodnota indexu	Slovní interpretace
-4-0	Velmi suchá oblast
1-7	Středně suchá oblast
8-14	Mírně suchá oblast
15-21	Oblast s vyrovnanou bilancí
22-28	Mírně vlhká oblast
29-35	Středně vlhká oblast
>35	Velmi vlhká oblast

Minářova vláhová jistota, vyjádřená poměrem průměrného množství srážek za určité období a průměrné teploty téhož období, udává množství srážek připadající na každý stupeň průměrné teploty daného období. Interpretace hodnot indexu je uvedena výše v tabulce 3.

3.4.3 Standardizovaný srážkový index

Standardizovaný srážkový index (dále jen SPI) vyvinul v roce 1993 McKee, Doesken a Kleist s ohledem na dopad na různé vodní zdroje. Byl navržen pro výpočet srážkového deficitu během různých časových řad – srážkové odchylky během relativně krátkého období pro vyjádření půdních vlhkostních podmínek, dlouhodobější pozorování pro zjištění dopadu na říční průtoky a hladiny nádrží a podzemních vod (McKee et al., 1993).

Index SPI je vypočten pomocí gama rozdělení, které je následně standardizováno. Parametry pro výpočet gama rozdělení jsou určeny následujícími vzorci:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + 2 \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \text{ kde } A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln x}{n} \text{ a kde } \hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}. \quad (3)$$

Ty jsou vypočteny pro každou observaci za sledovanou časovou řadu. Interpretace výsledků indexu SPI je uvedena v následující tabulce 4:

Tab. 4 – Slovní interpretace indexu SPI.
(zdroj: McKee et al., 1993)

Hodnota indexu	Slovní interpretace
>2	Velmi vlhká oblast
1,5 – 1,99	Středně vlhká oblast
1 – 1,49	Mírně vlhká oblast
-0,99 – 0,99	Oblast s vyrovnanou bilancí
-1 – -1,49	Mírně suchá oblast
-1,5 – -1,99	Středně suchá oblast
<-2	Velmi suchá oblast

3.4.4 Palmerův index závažnosti sucha

Palmerův index závažnosti sucha (dále jen PDSI) byl vyvinut v šedesátých letech W. C. Palmerem (Palmer, 1965), kombinuje vliv teploty a srážek a jeho výpočet vychází z vodní bilance studovaného území, která zahrnuje úhrn srážek za sledované období (typicky 1 měsíc), aktuální obsah vody v půdě a výdejovou evapotranspirační složku. Je konstruován tak, aby výjimečně vlhký měsíc uprostřed suchého období příliš neovlivnil jeho hodnotu, stejně tak aby série měsíců s přibližně normálními srážkami následující po suchém období ještě neznamenal, že již sucho skončilo. S jeho použitím jsou však spojena některá omezení (Alley, 1984, Karl and Knight, 1985). Ke značnému zjednodušení dochází například při výpočtu vodní bilance, kdy je půdní profil redukován na dvě vrstvy, PDSI nepočítá se sněhovými srážkami a také výpočet evapotranspirace je jen přibližný. Přes tato a některá další omezení je však PDSI vhodný pro použití v zemědělství, které je citlivé na půdní vlhkostní podmínky (Willeke, 1994, Litschmann, 2001).

Pro výpočet indexu PDSI je nutné vypočítat koeficienty α , β , γ a δ na základě bilancování zásob půdní vláhy během referenčního období pro danou lokalitu. K této bilanci se využívá srážkových údajů a vypočítané evapotranspirace pomocí Thornthwaitovy metody. Dále je půdní profil rozdělen na dvě vrstvy, přičemž svrchní má vždy hodnotu využitelné vodní kapacity (VVK) rovnou 25 mm. Druhá, spodní, vrstva má hodnotu VVK již odpovídající danému druhu půdy. K výpočtu koeficientů jsou zavedeny následující veličiny:

- potenciální doplnění (PR – potential recharge) – množství vláhy, potřebné k doplnění profilu na využitelnou vodní kapacitu (AWC)

$$PR = AWC - (S_s + S_u), \text{ kde:} \quad (4)$$

S_s – zásoba vláhy ve svrchním horizontu [mm],

S_u – zásoba vláhy ve spodním horizontu [mm],

- potenciální ztráta (PL – potential loss) – množství vláhy, který může být odebrána z půdy evapotranspirací v případě nulových srážek v daném měsíci.

- potenciální odtok (PRO – potential runoff) – rozdíl mezi potenciálními srážkami a potenciálním doplněním. Kdy Palmer předpokládá, že potenciální srážky jsou rovny využitelné vodní kapacitě:

$$PRO = AWC - PR = S_s + S_u \quad (5)$$

Následně jsou pomocí těchto charakteristik odvozeny čtyři koeficienty, potřebné k výpočtu vodní bilance v j-tém měsíci:

$$\begin{aligned} \alpha_j &= \frac{\overline{ET}_j}{\overline{PE}_j} \\ \beta_j &= \frac{\overline{R}_j}{\overline{PR}_j} \\ \chi_j &= \frac{\overline{RO}_j}{\overline{PRO}_j} \\ \delta_j &= \frac{\overline{L}_j}{\overline{PL}_j} \end{aligned} \quad (6)$$

Výpočet vláhové bilance je následně proveden pomocí vzorce:

$$\overline{P}_j = \alpha_j \overline{PE}_j + \beta_j \overline{PR}_j + \chi_j \overline{PRO}_j - \delta_j \overline{PL}_j \quad (7)$$

Dále pomocí vzorce:

$$d_i = P_i - \overline{P}_i \quad (8)$$

kde: d_i – odchylka srážek v daném měsíci od normálu,
 P_i – srážky v daném měsíci,
 \overline{P}_i – vláhová bilance v daném měsíci.

Index odchylky půdní vlhkosti (Z-index) pro měsíc i je vyjádřen jako:

$$Z_i = K_j d_i \quad (9)$$

Přičemž K je empirický koeficient vypočítaný na základě následující rovnice:

$$K_j = \left(\frac{17.67}{\sum_{i=1}^{12} D_j K'_j} \right) K'_j \quad K'_j = 1.5 \log \left(\frac{\overline{PE}_j + \overline{R}_j + \overline{RO}_j + 2.8}{\overline{P}_j + \overline{L}_j} \right) + 0.5 \quad (10)$$

kde D_j – průměr absolutních hodnot odchylek d za kalibrační období pro každý měsíc v roce.

Výsledný index je vypočten jako:

$$PDSI_i = 0,897PDSI_{i-j} + 0,33Z_i \quad (11)$$

Interpretace výsledků indexu PDSI je uvedena v následující tabulce 5.

Tab. 5 – Slovní interpretace indexu PDSI.
(zdroj: Palmer, 1965)

Hodnota indexu	Slovní interpretace
>4	Velmi vlhká oblast
3 – 3,99	Středně vlhká oblast
2 – 2,49	Mírně vlhká oblast
-1,99 – 1,99	Oblast s vyrovnanou bilancí
-2 – 2,49	Mírně suchá oblast
-3 – 3,99	Středně suchá oblast
<-4	Velmi suchá oblast

3.4.5 Palmerův Z-index

Z-index, nazývaný také index odchylky půdní vlhkosti, je klíčovou součástí výpočtu PDSI. Ukazuje, jak se liší současné klimatické podmínky naměřené v daném měsíci od dlouhodobého normálu bez ohledu na stav vodní bilance v předcházejícím období. Slouží k popisu krátkodobého sucha (Palmer, 1965). Interpretace výsledků je uvedena v následující tabulce 6.

Tab. 6 – Slovní interpretace Z-indexu. (zdroj: Palmer, 1965)

Hodnota indexu	Slovní interpretace
>3,5	Velmi vlhká oblast
2,5 – 3,44	Středně vlhká oblast
1 – 2,49	Mírně vlhká oblast
-1,24 – 0,99	Oblast s vyrovnanou bilancí
-1,25 – 1,99	Mírně suchá oblast
-2 – 2,74	Středně suchá oblast
<-2,75	Velmi suchá oblast

3.4.6 Standardizovaný srážkový evapotranspirační index

Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (dále SPEI - Standardised Precipitation Evapotranspiration Index) patří mezi indexy sucha, které umožňují hodnotit klimatické sucho s využitím denních meteorologických měření. Index SPEI byl zaveden v práci Vicente-Serrana et al. (2010) s cílem zdokonalit koncept SPI. Využívá měsíční diference mezi srážkami a potenciální evapotranspirací (PET) v jednoduché klimatické vodní bilanci (Thornthwaite, 1948), tedy jde o tutéž metodu aplikovanou ve výpočtech PDSI a Z-indexu pro různé časové škály. Popis této metody je popsán níže v kapitole 3.5.4. Následný výpočet je proveden obdobně jako u indexu SPI pomocí gama rozdělení a následné standardizace uvedené výše u indexu SPI. Hodnoty indexu SPEI jako normované veličiny mohou být porovnávány pro různá místa a období, proto je jeho výpočet doporučován Světovou meteorologickou organizací (WMO) a Světovou organizací pro výživu a zemědělství (FAO). Interpretace výsledků je uvedena v následující tabulce 7.

Tab. 7 – Slovní interpretace indexu SPEI
(zdroj: ČHMÚ).

Hodnota indexu	Slovní interpretace
> -0,1	Bez výskytu sucha
-0,1 – -0,79	Slabé sucho
-0,8 – -1,19	Mírné sucho
-1,2 – -1,59	Výrazné sucho
-1,6 – -1,99	Výjimečné sucho
< -2	Extrémní sucho

3.5 Základní hydrologické charakteristiky

Hydrologická bilance

Hydrologický cyklus neboli koloběh vody, je konceptuální model toho, jak se voda pohybuje mezi zemí a atmosférou ve všech skupenstvích. Tedy pevném, kapalném a plynném. Koloběh vody rozlišujeme na velký a malý. Velký koloběh vody vyjadřuje přesun vody mezi pevninou a oceánem. Malý koloběh vody se odehrává pouze nad pevninou, nebo pouze nad oceánem, či jen nad bezodtokovými oblastmi. Koloběh vody je závislý na výparu, infiltraci, odtoku apod. Všechny tyto procesy jsou vyjadřovány v rámci hydrologické bilance (Kravka, 2009).

Hydrologická bilance umožňuje porovnávat úbytek (výpar a odtok) nebo příbytek (srážky a přítoky) vody v povodí v daném časovém intervalu. Tyto změny neustálého pohybu vody lze vyjádřit základní bilanční rovnicí ve tvaru:

$$S = O + V \pm R \text{ [m}^3\text{]}, \quad (12)$$

kde: S = množství srážek spadlých v povodí za dané období,

O = množství vody, které odteče z povodí (povrchový i podpovrchový odtok),

V = množství vody, které se vypaří z vodní hladiny, z půdy a z rostlin v povodí,

R = změna zásob vody v povodí.

Bilanční rovnice znázorňuje, jak jsou srážky v povodí rozděleny a s jakým množstvím vody je možné v povodí hospodařit. Pro zpracování hydrologických jevů, které jsou ovlivněny ročními obdobími, byl stanoven tzv. hydrologický rok, ve kterém se cyklus srážek i odtoku uzavírá a kde je téměř vyloučeno zadržení vody spadlé v předešlém období ve sněhu. Hydrologické rok začíná 1. listopadu a končí 31. října nadcházejícího roku. (Patočka, 1996)

Retence

Retence vyjadřuje schopnost půdy zadržet určité množství vody a liší se podle charakteru a fyzikálních vlastností půdy. Retence půdy říká, při jakém srážkovém úhrnu dojde k úplnému nasycení půdy v povodí. Související pojem retenční vodní kapacita (RVK) udává množství vody, které je půda schopna pojmout. S rostoucí hodnotou RVK půdy vzrůstá také její jímací schopnost, která závisí na infiltrační schopnosti půdy. Retence srážkové vody v povodí má významný vliv na celkový odtok vody z povodí. Špatná schopnost zadržení vody může způsobit výskyt sucha v krajině. Charakter vodního režimu půdy je značně ovlivněn systémem hospodaření, lesnictvím a zemědělstvím a dalšími antropogenními zásahy (Matoušek, 2010).

Infiltrace

Infiltrace je jev ovlivňující srážkoodtokový proces, kdy dochází ke vsaku vody do půdy. Infiltraci ovlivňuje chemické složení vody i půdy, půdní vlhkost, hydraulická vodivost, sklonitost terénu, pórovitost, teplota vody nebo aktivita mikrobů a půdních živočichů. Infiltrace je nerovnoměrná, její intenzita s časem klesá, dokud nenastane plné nasycení a poté nastává povrchový odtok (Matoušek, 2010).

Evapotranspirace

Evapotranspirace označuje celkový výpar z krajiny. Jde tedy o fyzikální proces přeměny z kapalné fáze na plynnou. Evapotranspirace je důležitou součástí hydrologického cyklu a podílí se taktéž na hydrologické bilanci území. Přesná hodnota evapotranspirace se zjišťuje velice obtížně, je závislá na mnoha faktorech. Stanovuje se přímo i nepřímo. Její velikost se obvykle vyjadřuje v milimetrech za určitou časovou jednotku. Hodnota značí množství vody ztracené z určitého území. Je součtem dvou jevů: evaporace a transpirace. Evaporací rozumíme výpar vody ze zemského povrchu a transpirací výpar vody z vegetace (Allen, 1998, Penka, 1985).

Pro výpočet potenciální evapotranspirace existuje řada metod. Jednou z nich využitou v této práci je Thornthwaitova metoda. Thornthwaite navrhl metodu výpočtu potenciální evapotranspirace za předpokladu, že průměrné měsíční hodnoty jsou kladné. Její předností je, že umožňuje výpočet evapotranspirace území, kde je k dispozici minimum meteorologických informací.

Výhodou této metody je, že bere do úvahy jen teplotu vzduchu, jejím nedostatkem je snížená přesnost vypočítaného odhadu. Hodnoty E_o vypočítané metodou Thornthweitha pro chladné období roku jsou obvykle nadhodnocené (Novák, 1995, Penman, 1948).

Tato metoda využívá rovnici pro výpočet potenciální evapotranspirace po dobu „ideálního“ měsíce (30 dní):

$$E_o = 1,6 \left(\frac{10 \times T_m}{I} \right)^a \quad [\text{mm/den}] \quad \text{kde:} \quad (13)$$

E_o – potenciální evapotranspirace za ideální měsíc,

T_m – průměrná měsíční teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$],

I – teplotní index, získaný součtem dvanácti hodnot měsíčních indexů, tj.:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad (14)$$

$$i_j = (T_j/5)^{1,514}$$

T_j = průměrná měsíční teplota vzduchu pro danou lokalitu [$^{\circ}\text{C}$],

a – exponent vypočítaný podle: $a = (0,0675x^3 + 7,71x^2 + 1792xI + 47239) \times 10^{-5}$.

Odtok

Odtok označuje vodu ze srážek, které spadnou na povrch. Vytváří nejdříve plošný nesoustředěný odtok a vlivem morfologie terénu se pak koncentruje v tocích a vytváří povrchový soustředěný odtok. Odtok vyjadřuje objem vody, který odtekl z povodí za určitý časový úsek. Celkový odtok se rozděluje podle způsobu, jakým se voda do povrchových toků dostává, na odtok: povrchový, podpovrchový, podzemní.

Povrchový odtok je dále rozdělen na soustředěný v hydrologické síti a nesoustředěný odtok, který probíhá neorganizovaně po celých plochách svahů v podobě ronů. Povrchový odtok odtéká z povodí po terénu, u podpovrchového stéká voda do koryta toku ve vrchní podpovrchové vrstvě a není v kontaktu s hladinou

podzemní vody. Podzemní odtok vyjadřuje tu část vody, která odtéká jako součást podzemní vody (Kravka, 2009, Hubačiková, 2002).

Související pojem s odtokem je průtok, který charakterizuje velikost odtoku a představuje množství vody, které protéklo průtočným profilem toku za časovou jednotku. Obvykle se vyjadřuje v m^3/s . V povrchových tocích je nárůst průtoku způsoben srážkami nebo táním sněhu. Průtokový režim ve větších tocích je mimo srážky, či tání sněhu určován také přítoky, interakcí podzemní vody a vlivem lidské činnosti (Kravka, 2009).

Půdní vláha

Půdní vláha je jednou ze dvou složek podpovrchové vody. Definice vlhkosti půdy je poměrně obtížná. Z pedologického hlediska se termínem vlhkosti půdy vyjadřují významné vlhkostranné charakteristiky (tzv. půdní vodní konstanty a hydrolimity – polní vodní kapacita, bod snížení dostupnosti vody a bod vadnutí). V agrometeorologickém pojetí slovem vlhkost půdy rozumíme obsah vody v půdě. Základní definice nejdůležitějších veličin půdní vlhkosti jsou v těsné souvislosti s metodami měření, kterých existuje velké množství. Každá z metod má své přednosti i nedostatky a je zatížena specifickým souborem chyb. Proto jsou výsledky jednotlivých metod měření mezi sebou obtížně srovnatelné (Krásný, 2012).

Podzemní voda

Podzemní voda je druhou složkou podpovrchové vody. Podzemní voda je na rozdíl od vody v povrchových tocích a nádržích většinou skrytá pod zemským povrchem a ve srovnání s povrchovou vodou je méně viditelná. Objevuje se kromě pramenů pod povrchem země v dutinách jako 12 kavernózní jezera a řeky a jako podzemní voda v puklinách ve skalách a v porézních prostorech sedimentů. Naplňuje prostory a praskliny ve skalách, velké komory ve skalách a také malé a nejjemnější póry v úložistích štěrku a písku, v depresích v říčních údolích a na březích jezer a moří (Krásný, 2012).

3.6 Metoda CN křivek

K analýze retenční schopnosti povodí v závislosti na způsobu jeho využití je nejčastěji používána metoda čísel odtokových křivek CN. Platí, že čím je hodnota CN nižší, tím je vyšší infiltrační schopnost půdy, která ovlivňuje retenční schopnost povodí (Kravka, 2009).

Metoda CN byla odvozena v USA službou pro ochranu půdy. Touto metodou lze určit podíl přímého odtoku na odtoku celkovém, který je obecně ovlivněn množstvím srážek, infiltrací vody do půdy, druhem vegetačního pokryvu, nepropustnými plochami, vlhkostí půdy a retencí povrchu. Základním vstupem pro metodu čísel odtokových křivek je srážkový úhrn návrhového deště se zvolenou dobou opakování s podmínkou jeho rovnoměrného rozdělení na ploše povodí. Objem srážek je pomocí čísel odtokových křivek přeměněn na objem odtoku. Hodnoty čísel CN závisí na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikostí nepropustných ploch, intercepci a povrchové retenci (Janeček, 2012).

Podle metodiky Janeček (2012), jsou čísla odtokových křivek CN určována podle:

- a) **hydrologických vlastností půd**, které jsou rozděleny do čtyř skupin – A, B, C, D na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém nasycení,
- b) **vlhkosti půdy** určené na podkladě pětidenního úhrnu předcházejících srážek – indexu předchozích srážek, který je udáván ve třech stupních – IPS I (odpovídá obsahu vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání), IPS II (využívá se pro návrhové účely, pro střední nasycení půdy vodou) a IPS III (půda je přesycena vodou z předchozích dešťů),
- c) **využití půdy**, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření.

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Aplikace algoritmů dostupných v programech SAGA, QGIS a ArcGIS

V této kapitole jsou popsány vybrané možnosti modelování dostupnosti vody v softwaru SAGA, QGIS a ArcGIS. Možnosti uváděných programů se liší ať už počtem nástrojů i využívání jejich licencí.

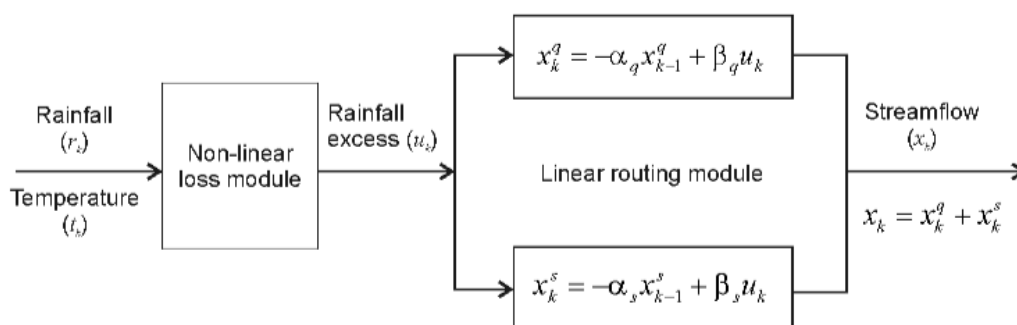
4.1.1 SAGA

SAGA celým názvem System for Automated Geoscientific Analyses je geoinformační systém vytvořený výzkumníky z katedry fyzické geografie v Göttingenu. Jedná se o Free Open Source Software. SAGA obsahuje následující nástroje pro modelování v hydrologii:

Library Hydrology: IHACRES

Konceptuální srážkovo-odtokový model IHACRES je součástí knihovny nástrojů. Využívá se pro modelování povrchového odtoku na základě srážkových a teplotních dat. Nejsou zapotřebí žádná prostorová data jako digitální model reliéfu, půdní typy nebo využití půdy. V poslední době slouží nejčastěji pro modelování a predikci povrchového odtoku ze srážek kvůli povodňovému riziku.

Díky nízkým požadavkům na vstupní data může být IHACRES aplikován na velké množství povodí bez nutnosti dlouhého sběru dat. Model počítá s časovou osou srážek a teplot pro modelování povrchového odtoku. Jak je na obrázku XX níže zobrazeno, srážková data jsou převedena na efektivní srážky v nelineárním ztrátovém modulu. Pro dosažení tohoto výsledku je pro každý krok spočítán vlhkostní index povodí znázorňující saturaci povodí. V lineárním modulu je efektivní srážka převedena na povrchový odtok viz. obr. 1 (www.saga-gis.org).



Obr. 1 – Postup výpočtu modelu IHACRES. (zdroj: www.saga-gis.org)

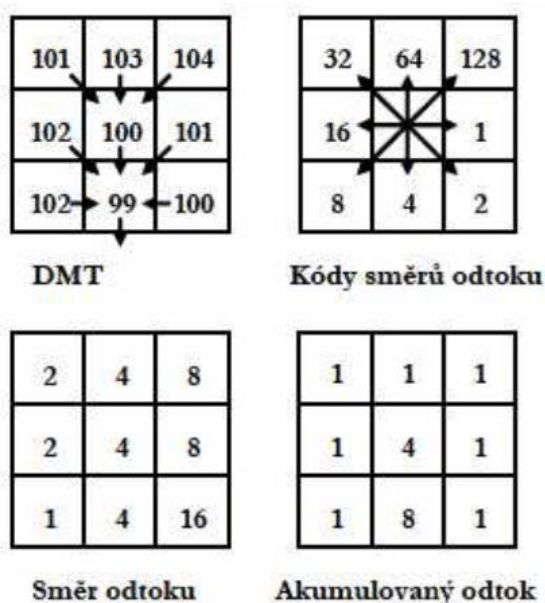
Library Hydrology: Simulation | Hydrology

Skupina nástrojů obsahujících čtyři moduly: Overland Flow - Kinematic Wave D8, Soil Moisture Content, TOPMODEL, Water Retention Capacity.

Jedním z nástrojů je TOPMODEL. Jedná se o fyzický distribuovaný model, který modeluje např. infiltraci a evapotranspiraci v povodí a simuluje interakce mezi povrchovým a podpovrchovým odtokem a tím lokalizuje místa saturace. Dalším nástrojem je modul pro simulaci půdní vláhý. Vstupují do něj proměnné jako: vlastnosti půdy (*field capacity and permanent wilting point*), využití půdy (*crop types*) a klimatická data (srážky a teplota). (www.saga-gis.org)

Library Hydrology: Terrain Analysis | Hydrology

V této knihovně nalezneme nástroj pro výpočet akumulace odtoků (flow accumulation). Nástroj, který umožňuje na základě digitálního modelu reliéfu a flow direction rastru výpočet vrstvy předpovídající akumulaci vody v území. Hodnota buňky vytvořeného rastru představuje počet buněk, ze kterých voda přitéká do této buňky. Princip tohoto nástroje představuje následující obrázek 2. Výsledek výpočtu lze vidět na obrázku 3.



Obr. 2 – Princip nástrojů flow direction a flow accumulation.

(zdroj: www.saga-gis.org)

Další je nástroj pro výpočet Topographic wetness index (TWI). Tento index popisuje kumulaci vlhkosti v krajině kombinací sklonu svahů a velikosti povodí každé buňky digitálního modelu reliéfu dle následujícího vzorce:

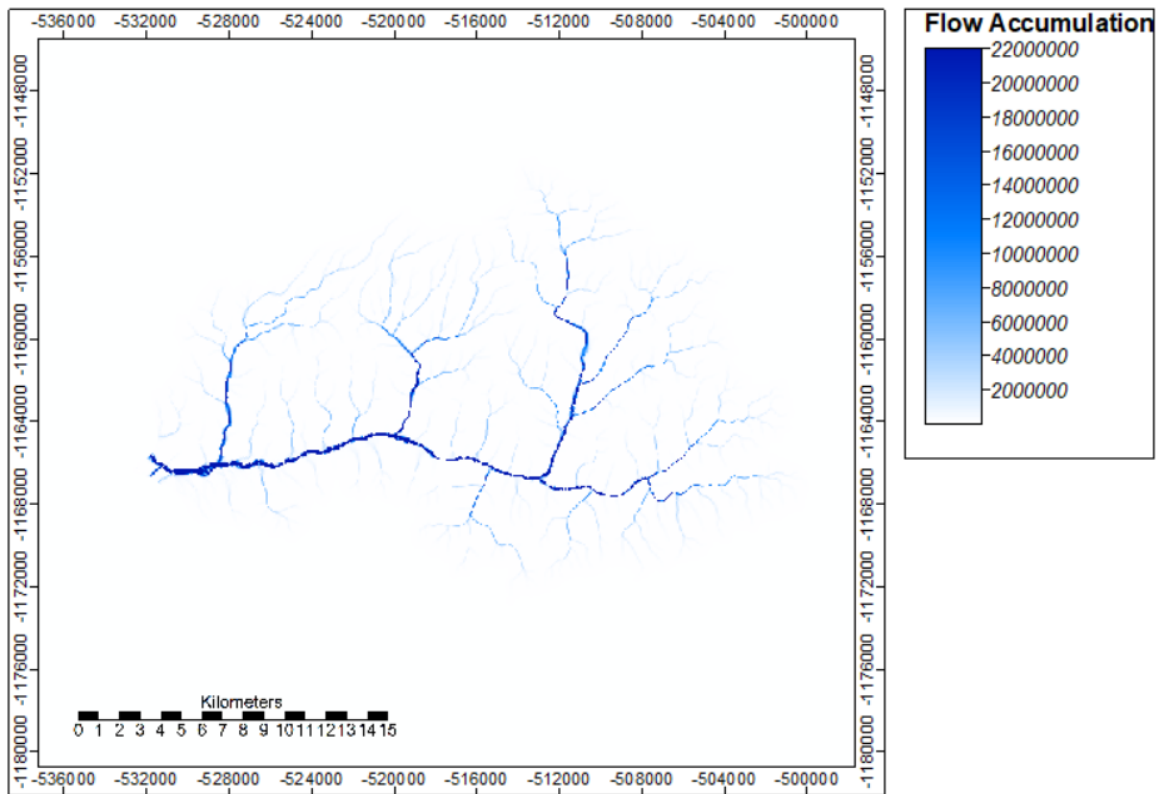
$$As = (\text{flow accumulation} + 1) * \text{velikost pixlu}$$

Výpočet sklonu svahů (β) ve stupních převedených na radiány pomocí:

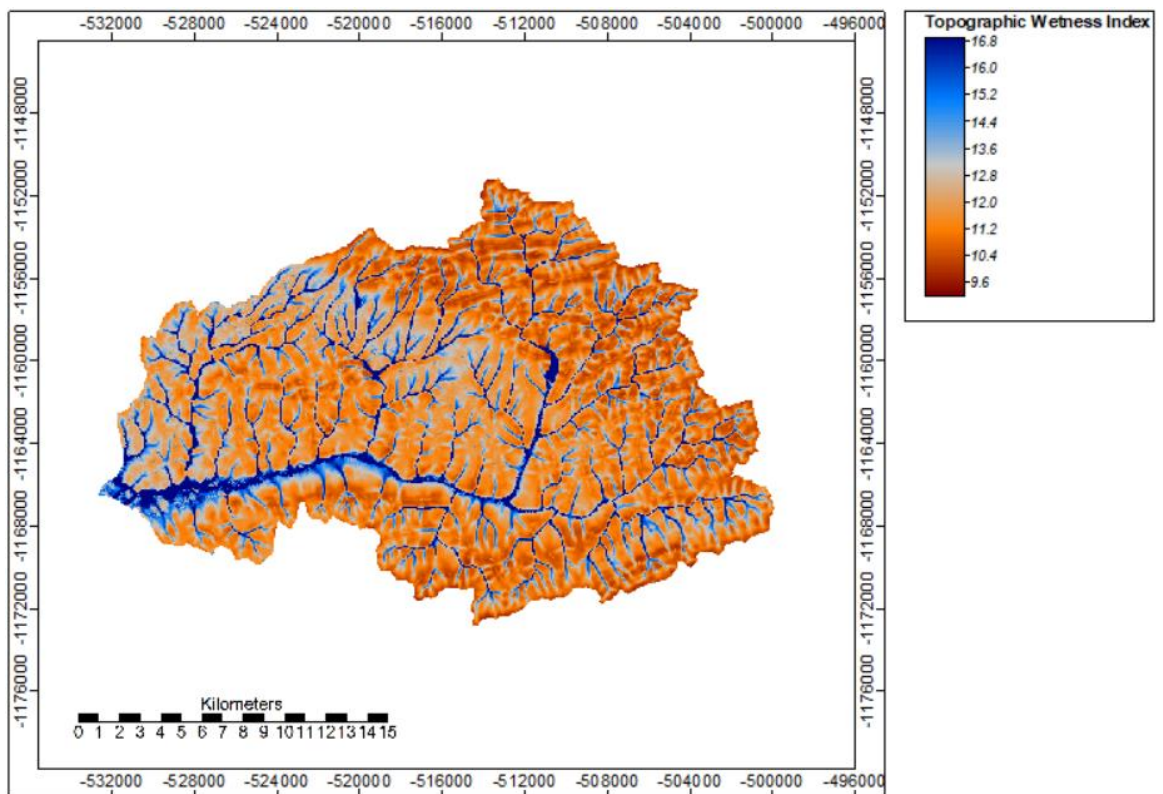
$$\beta = (\text{slope} * 1.570796) / 90$$

$$TWI = \ln (As / \tan \beta) \quad (15)$$

Jako vlhká vycházejí místa plochá s velkým povodím, jako suchá potom místa na prudkých svazích s malým povodím (obr. 4).



Obr. 3 – Výsledek výpočtu flow accumulation v software SAGA. (zdroj: autor)



Obr. 4 – Výsledek výpočtu TWI v software SAGA. (zdroj: autor)

4.1.2 QGIS

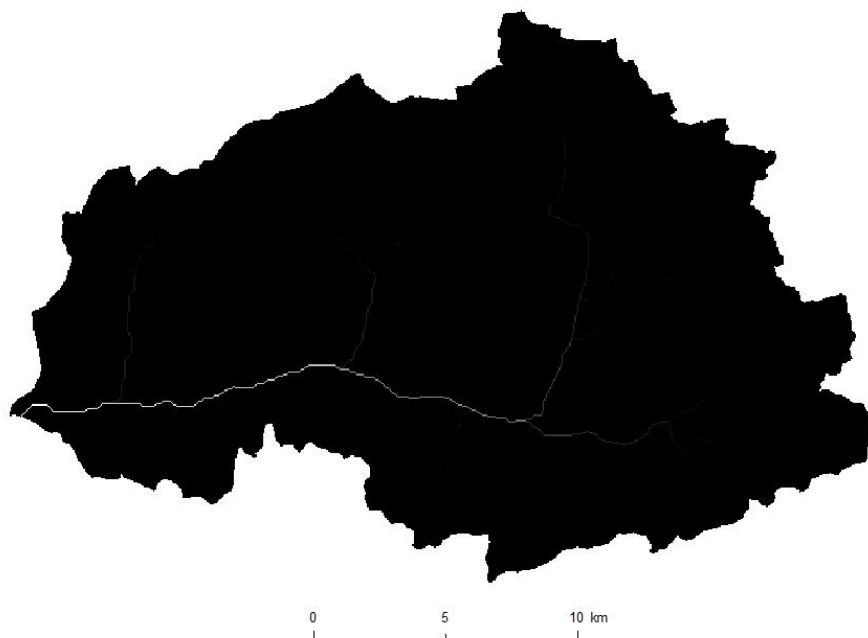
QGIS je Open source geoinformační systém pod licencí GNU General Public License. Je vytvořený Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Tento software sám o sobě nenabízí příliš velké množství nástrojů. Jedním ze způsobů práce s QGIS je využití knihovny SAGA GIS, která je zde přístupná. Tím pádem je řešení obdobné jako v předešlém příkladu.

4.1.3 ArcGIS

ArcGIS je centrální aplikace ArcGIS for Desktop. Software ArcGIS byl vytvořen společností Esri. Nabízí řadu nástrojů v oblasti hydrologie.

Hydrology toolset

Tato sada nástrojů slouží k modelování říční sítě a povodí nad digitálním modelem reliéfu. Pomocí nástroje *Fill* se odstraní z digitálního modelu reliéfu místa, která neobsahují žádnou níže položenou sousední buňku čili neumožňuje odtok do okolí. Dalším krokem při modelování je modelování směru odtoků pomocí nástroje *Flow Direction* a finálním krokem při využití této sady nástrojů je *Flow Accumulation*, který zobrazí místa akumulace povrchového odtoku. Výsledný rastr je zobrazený na obrázku 5.



Obr. 5 – Výsledek výpočtu flow accumulation v software ArcGIS. (zdroj: autor)

V software ArcGIS je také možné vypočítat Topografic wetness index pomocí výše uvedeného vzorce za použití nástroje *Raster calculator*. Vstupem pro výpočet je vytvořený rastr *flow accumulation* a dále pak rastr sklonu svahů vytvořený pomocí nástroje *Slope*. Výpočet indexu probíhá pomocí následujícího vzorce:

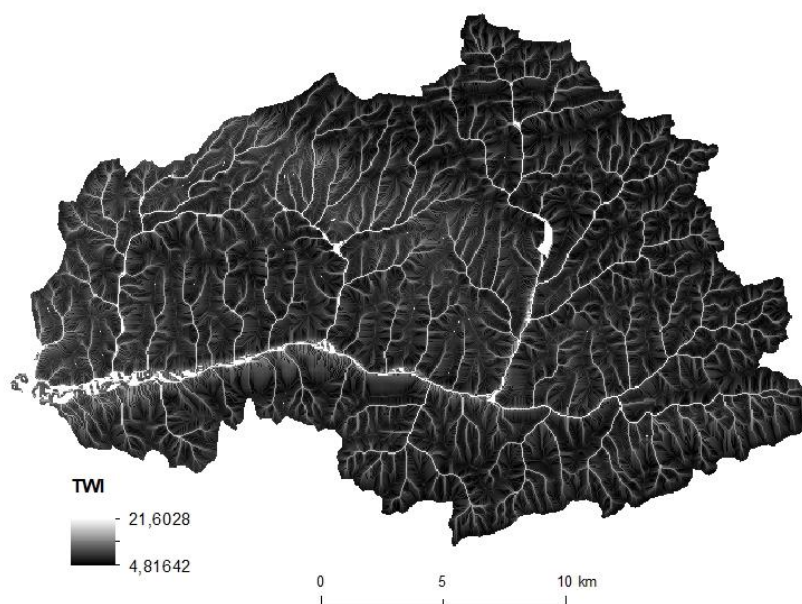
$$As = (flow\ accumulation + 1) * velikost\ pixlu$$

Výpočet sklonu svahů (β) ve stupních převedených na radiány pomocí:

$$\beta = (slope * 1.570796) / 90$$

$$TWI = Ln (As / \tan \beta) \quad (15)$$

Výsledek vypočteného rastru zobrazující Topografic wetness index je zobrazený na obrázku 6.



Obr. 6 – Výsledek výpočtu TWI v software ArcGIS. (zdroj: autor)

ArcHydro Tools

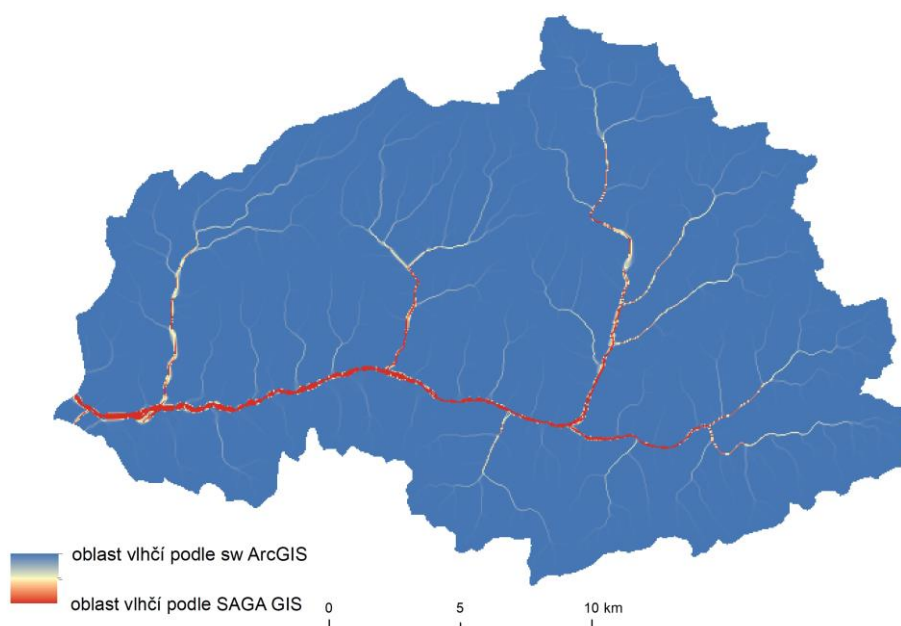
Sada nástrojů zabývající se modelováním sucha nad digitálním modelem reliéfu. Využívají se k vytvoření několika datasetů popisujících suchu v zájmovém povodí. Rastrové analýzy generují data o směru odtoků, akumulaci odtoku, segmentaci vodních toků a vymezení povodí. Ty vstupují do dalších nástrojů modelujících hydrologické podmínky.

Water balance toolset

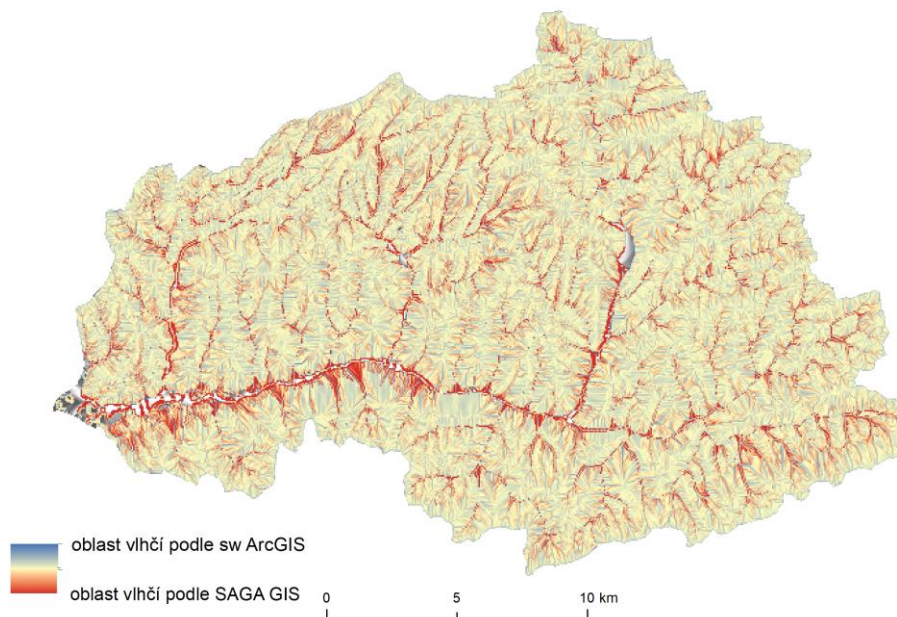
Tato sada nástrojů slouží k modelování vztahů mezi potenciální evapotranspirací a srážkami s půdní vláhou. Jedná se o sadu nástrojů pro ArcGIS pro verzi 10.2 a výše. Byla vytvořena na univerzitě v Ohiu. Nástroje počítají měsíční potenciální evapotranspiraci pomocí Turcovi metody. Následně je vypočítána zásoba vody v půdě, aktuální evapotranspirace, deficit půdní vlhkosti a přebytek půdní vláhý v každém pixlu digitálního modelu reliéfu. Vstupní vrstvy této sady nástrojů jsou: digitální model reliéfu, kapacita půdní vláhý, měsíční srážky, teplota a sluneční záření.

4.1.4 Porovnání dostupných nástrojů

V této části kapitoly jsou některé výsledky nástrojů porovnány.



Obr. 7 – Rozdíl výpočtu Flow accumulation v software ArcGIS a SAGA GIS. (zdroj: autor)



Obr. 8 – Rozdíl výpočtu Flow accumulation v software ArcGIS a SAGA GIS. (zdroj: autor)

Na obrázcích 7 a 8 výše viditelný rozdíl v oblastech s vyšší akumulací vody, místy hodnocenými jako více vlhké, které tvoří říční síť. Tyto oblasti vyšly v softwaru SAGA jako vlhčí než v ArcGIS, jak v případě výpočtu flow accumulation, tak i při výpočtu TWI. Na druhou stranu při výpočtu flow accumulation je ve zbytku oblasti velmi jednoznačný při výpočtu v ArcGIS. To může být ovlivněno počtem pixelů, ze kterých voda odtéká do okolí.

4.2 Aplikace indexů meteorologického sucha

V následující části kapitoly je popsán postup výpočtu vybraných indexů meteorologického sucha. Pro výpočet byly využity tři datové sady: denní historická z Českého hydrometeorologického úřadu (data ČHMÚ), klimatická data vztahující se k přírodním lesním oblastem a lesním vegetačním stupňům z Ústavu výzkumu globální změny AV ČR (data CzechGlobe) a poslední využitou datovou sadou je Worldclim 2.0 (data Worldclim).

4.2.1 Langův dešťový faktor

Langův dešťový faktor vyjadřuje podmínky přirozeného zavlažení krajiny, a to vztahem mezi atmosférickými srážkami a teplotou vzduchu (Sobišek, 1993):

$$LDF = R/t, \quad \text{kde:} \quad (1)$$

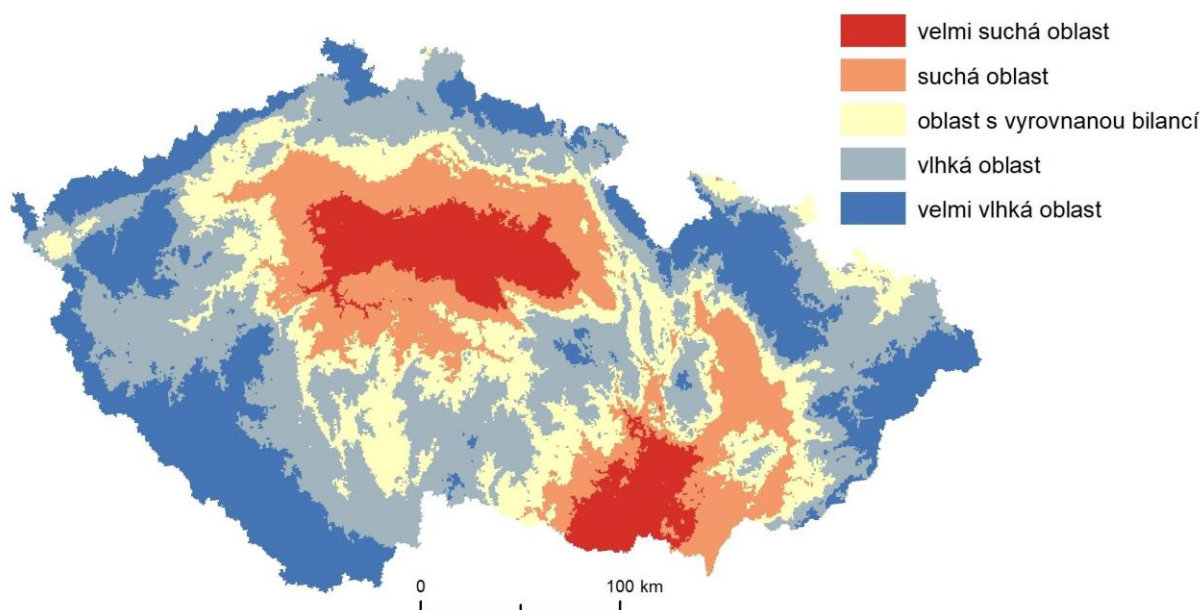
LDF = Langův dešťový faktor,

R = průměrný roční úhrn srážek v mm,

t = průměrná roční teplota vzduchu ve °C.

Index byl vypočítán postupně ze tří používaných datových sad. První výpočet proběhl z dat ČHMÚ. Pomocí souřadnic uvedených u stanic s dostupnými daty byla vytvořena bodová vrstva. Po úpravě denních historických dat na roční hodnoty byl vypočten Langův dešťový faktor pro 10 stanic (Kocelovice, Liberec Lysá hora, Milešovka, Mošnov, Praha Libuš, Praha Ruzyně, Příbyslav, Přimda, Tuřany).

Výpočet nad daty Worldclim. proběhl pomocí *rastr calculator*, kdy rastry s měsíčními hodnotami byly přepočteny do ročního průměru a následně pomocí výše uvedeného vzorce byl vypočten rastr Langova dešťového faktoru, který je znázorněný na obr. 9.

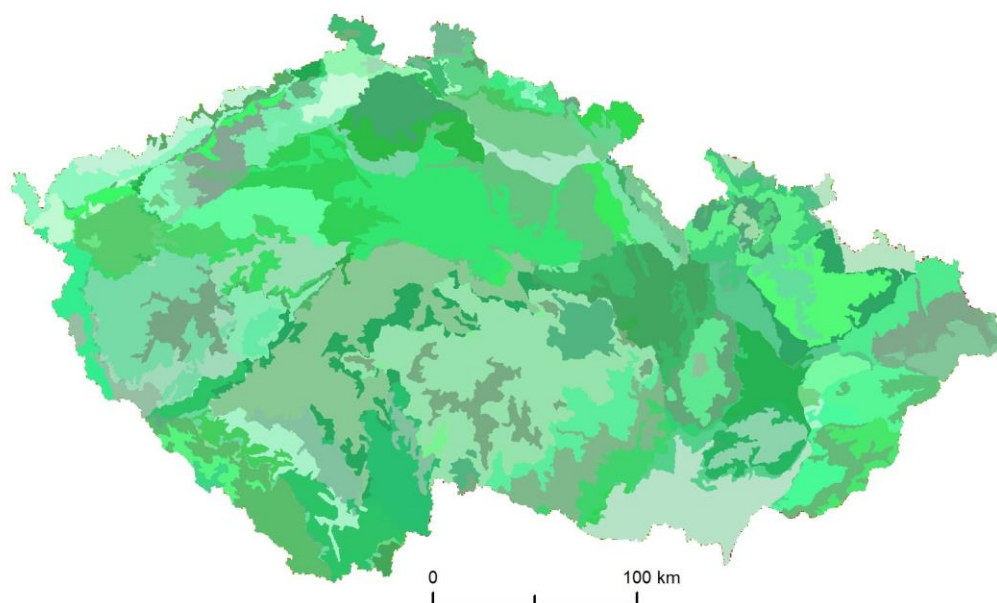


Obr. 9 – Langův dešťový faktor nad daty Worldclim. (zdroj: autor)

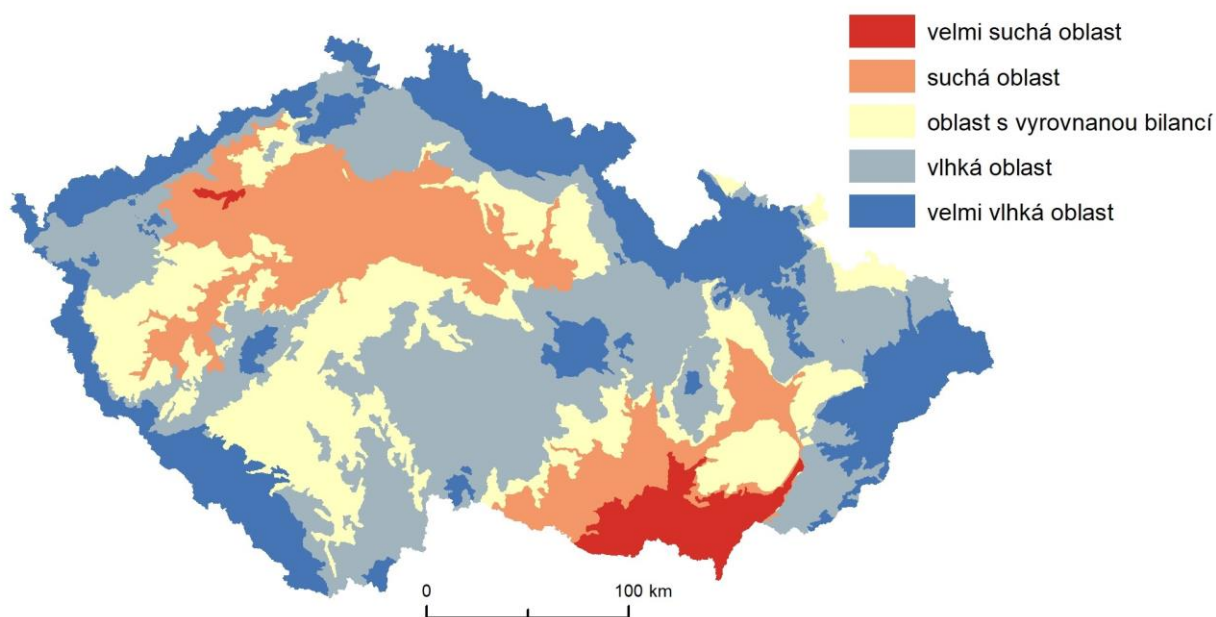
Výpočet indexu nad poslední datovou sadou CzechGlobe proběhl po opětovné úpravě dat na roční průměrné hodnoty v programu MS Excel ve formátu .XLS (obr. 10). Výsledné hodnoty byly připojeny na vrstvu přírodních lesních oblastí a lesních vegetačních stupňů pomocí kombinace jedinečného kódu PLO_LVS. Vrstva PLO_LVS byla vytvořena pomocí digitalizace obrázku lesních vegetačních stupňů (dále LVS) podle Zlatníka a zkombinována s vrstvou přírodních oblastí lesa (dále PLO) vytvořenou ÚHÚL do výsledné vrstvy PLO_LVS ve formátu .SHP znázorněná na obr. 11.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
2	ELEME	MODEL	SCENARIO	BEGIN	PLO	LVS	STA	Měsíce												Rok
3				1981		1	2 AVG	N01	N02	N03	N04	N05	N06	N07	N08	N09	N10	N11	N12	N_YE
3	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		1	2 AVG	48,0	38,2	43,3	36,4	58,3	64,8	75,9	71,0	51,0	41,6	49,6	52,4	628,8
8	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		1	3 AVG	55,8	44,4	50,0	40,5	64,3	69,5	82,0	78,3	55,6	47,0	55,9	60,0	703,2
13	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		1	4 AVG	61,3	45,3	51,1	40,5	62,9	70,0	80,3	75,1	59,5	52,2	57,7	66,4	721,7
18	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		1	5 AVG	68,1	53,1	59,3	44,9	67,6	75,6	88,3	83,6	65,8	56,7	64,9	73,5	802,3
23	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		1	6 AVG	78,7	63,3	70,0	50,4	73,1	82,5	97,2	92,2	74,4	63,2	74,5	83,9	904,7
28	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		1	7 AVG	84,0	68,1	75,3	53,2	76,0	85,9	101,5	96,6	78,7	66,8	79,1	89,0	955,2
33	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		1	8 AVG	89,5	74,1	81,9	56,2	75,9	88,0	105,0	99,9	85,7	72,9	83,9	96,5	1006,2
38	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		2	1 AVG	21,6	17,7	23,7	28,0	53,0	57,5	67,0	66,3	38,6	27,7	29,6	27,2	459,4
43	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		2	2 AVG	39,6	30,7	35,9	32,5	57,7	60,5	70,8	70,4	44,2	36,6	42,6	43,1	564,7
48	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		2	3 AVG	51,8	38,2	44,2	37,0	59,5	66,3	75,8	70,9	54,8	47,1	50,6	56,8	653,2
53	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		2	4 AVG	49,2	36,4	43,2	38,9	62,0	68,5	79,8	71,6	54,6	48,1	50,1	55,4	657,7
58	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		2	5 AVG	55,9	41,6	47,5	39,1	60,8	68,2	78,0	73,6	56,9	49,6	53,7	61,2	686,6
63	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		3	3 AVG	49,3	37,1	43,5	37,2	60,4	66,1	75,5	71,0	54,4	45,6	49,1	54,2	643,6
68	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		3	4 AVG	50,2	38,6	45,1	40,2	63,1	70,2	80,8	74,6	55,0	48,6	51,0	55,1	672,1
73	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		3	5 AVG	52,8	41,0	48,2	41,4	64,1	70,8	81,2	76,2	57,8	49,5	53,1	57,9	693,5
78	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		3	6 AVG	62,6	49,8	57,4	47,4	71,1	79,7	93,6	84,9	67,6	58,1	63,0	69,2	804,8
83	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		3	7 AVG	66,8	54,2	62,1	50,6	75,4	84,7	100,6	90,0	72,8	62,5	67,8	74,3	862,4
88	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		4	1 AVG	24,1	19,6	25,1	28,6	52,4	57,5	65,8	64,0	39,5	29,2	31,3	28,6	466,6
93	SRA	.SKUTECNOST	.SKUTECNOS	1981		4	2 AVG	36,7	29,4	35,1	32,9	54,9	60,7	69,0	65,5	45,6	36,3	40,8	41,5	549,8

Obr. 10 – Ukázka vstupních dat CzechGlobe. (zdroj: autor)



Obr. 11 – Vytvořená vrstva PLO_LVS. (zdroj: autor)



Obr. 12 – Langův dešťový faktor nad daty CzechGlobe. (zdroj: autor)

Výsledek Langova dešťového faktoru vypočítaného z dat CzechGlobe vizualizovanými pomocí vrstvy PLO_LVS je znázorněn na obr. 12.

Dále byla vypočtena procentuální zastoupení pěti kategorií na území České republiky. Z tabulky č.8 je patrné, že výsledky z dat CzechGlobe a ČHMÚ jsou velmi podobné. Avšak z dat Worldclim se jeví více míst jako velmi suchých na úkor oblastí s vyrovnanou bilancí a vlhkou oblastí.

Tab 8. – Procentuální zastoupení kategorií na území ČR. (zdroj: autor)

	Velmi suchá oblast	Suchá oblast	Oblast s vyrovnanou bilancí	Vlhká oblast	Velmi vlhká oblast
ČHMÚ	5,4	16,0	22,8	33,6	22,3
CzechGlobe	3,5	17,7	22,4	33,5	22,8
Worldclim	9,1	17,4	19,2	31,6	22,7

Dále bylo nahlédnuto na výsledek měsíčních hodnot indexu. Na grafu 2 je vidět, že v průměru roku se hodnoty velmi neliší mimo měsíce únor, březen a prosinec, kde v lokálních maximech dosahují výsledky z dat Worldclim obecně nižších hodnot.



Graf 2 – Porovnání průběhu měsíčních hodnot. (zdroj: autor)

4.2.2 Minářova vláhová jistota

Minářova vláhová jistota charakterizuje vláhové poměry daného místa. Vychází z Minářova koeficientu J , jenž je určen vztahem (Sobišek, 1993):

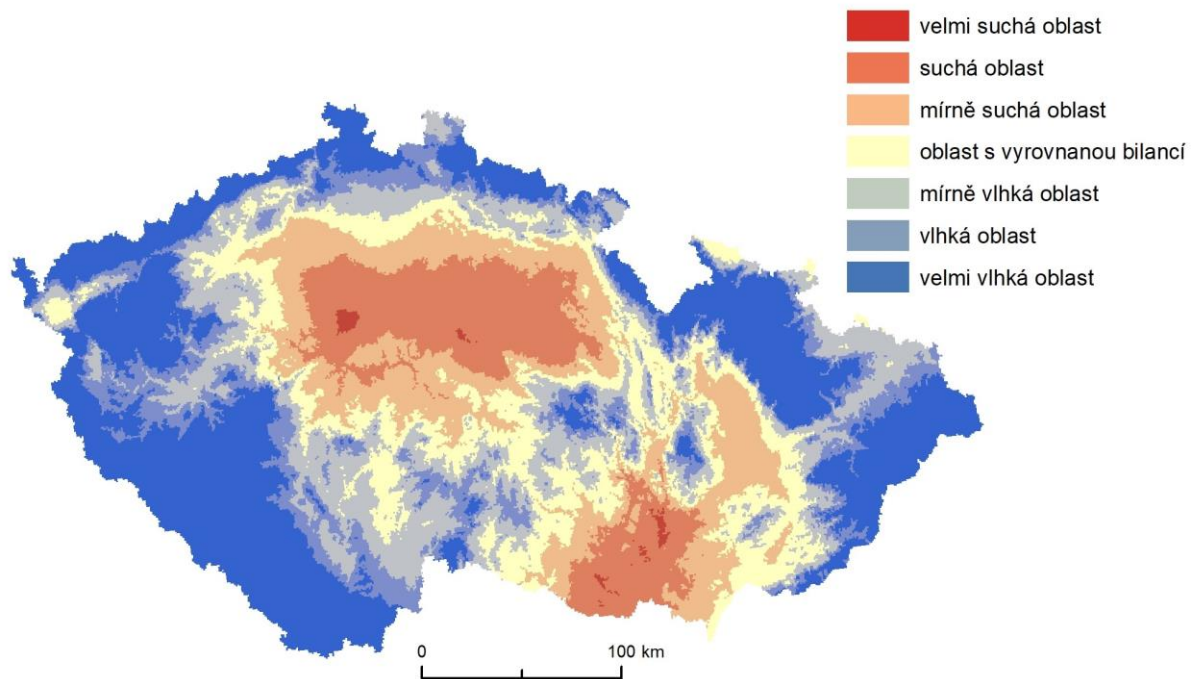
$$J = (R - 30(t + 7)) / t, \text{ kde:} \quad (2)$$

J = Minářova vláhová jistota,

R = průměrný roční úhrn srážek v mm,

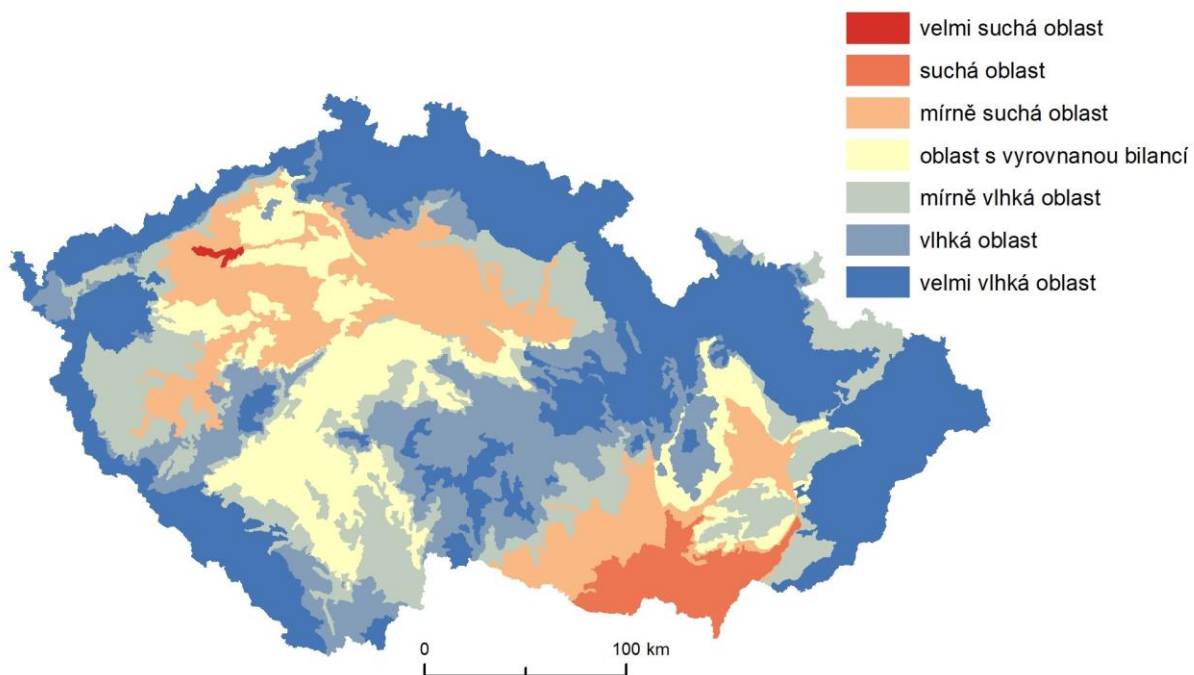
t = průměrná roční teplota vzduchu ve °C.

Výpočet indexu byl proveden pomocí výše uvedeného vzorce z již upravených dat z výpočtu LDF. Index byl vypočítán postupně ze tří používaných datových sad. První výpočet proběhl z dat ČHMÚ obdobně jako výpočet LDF. Výpočet nad další datovou sadou Worldclim 2.0. proběhl pomocí rastr calculatoru, kdy rastry s měsíčními hodnotami byly přepočteny do ročního průměru a následně pomocí výše uvedeného vzorce byl vypočten rastr Minářovy vláhové jistoty, který je znázorněn na obr. 13. Je opět patrné, že se nížinaté oblasti jeví jako velmi suché a horské oblasti jako vlhké.



Obr. 13 – Minářova vláhová jistota nad daty Worldclim. (zdroj: autor)

Na obr. 14 níže vidíme výsledek Minářovy vláhové jistoty vypočítané nad daty CzechGlobe a vytvořenou vrstvou PLO_LVS. Na první pohled se výsledek na obou obrázcích značně liší, ačkoliv opětovné vyhodnocení zastoupení jednotlivých sedmi oblastí na území ČR je opět velmi podobné. To je znázorněno v níže uvedené tabulce 9.



Obr. 14 – Minářova vláhová jistota nad daty CzechGlobe. (zdroj: autor)

Podobně jako v předešlém případě u LDF je patrné, že z dat Worldclim vyšlo více oblastí jako suchých viz tabulka č. 9.

Tab. 9 – Procentuální zastoupení kategorií na území ČR. (zdroj: autor)

	Velmi suchá oblast	Suchá oblast	Mírně suchá oblast	Oblast s vyrovnanou bilancí	Mírně vlhká oblast	Vlhká oblast	Velmi vlhká oblast
CHMU	1,4	2,2	11,4	15,2	23,7	10,0	32,8
CzechGlobe	0,1	3,4	15,5	14,3	17,1	15,1	34,5
Worldclim	0,3	11,4	14,4	15,3	17,9	12,1	28,7

Z grafu č. 3 vyčteme, že se měsíční hodnoty indexu velmi neliší, kromě hodnot v měsících únor a prosinec, kdy se oblasti v těchto měsících podle dat Worldclim jeví jako velmi vlhké.

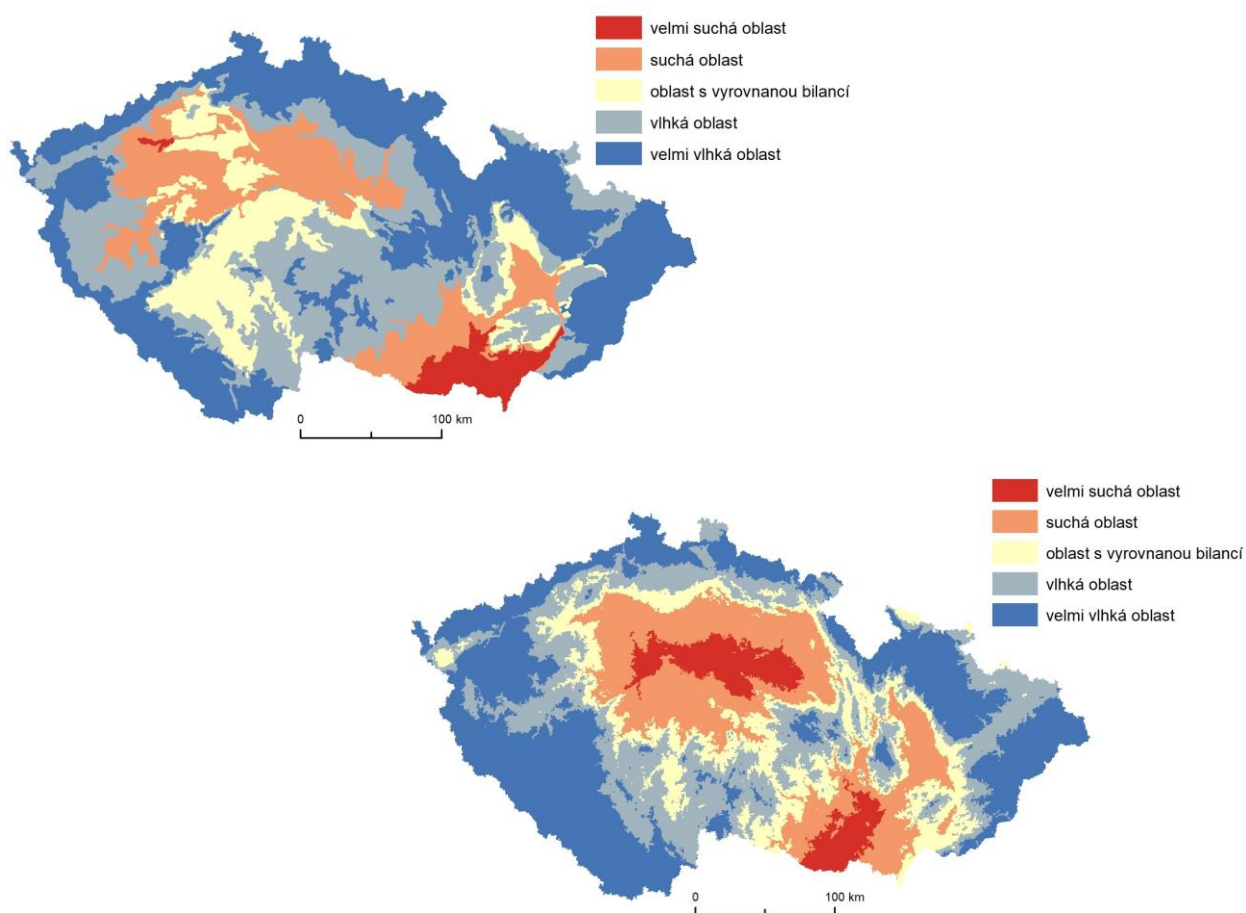


Graf 3 – Porovnání průběhu měsíčních hodnot. (zdroj: autor)

Pro možnost porovnání indexů LDF a Minářova vláhová jistota bylo zapotřebí tyto indexy převést na stejný počet kategorií a následně zjistit, jak velká část území spadá do jednotlivých kategorií. Bylo zvoleno 5 kategorií reprezentujících velmi suchou oblast, suchou, s vyrovnanou bilancí, vlhkou až velmi vlhkou oblast. Jelikož index LDF je původně interpretován pěti kategoriemi, byly zachovány. Dále index Minářova vláhová jistota byl převeden na pět kategorií, které jsou znázorněny v tabulce 10 a výsledné reklasifikované oblasti na obr. 15 níže.

Tab. 10 – Převedení Minářovy vláhové jistoty na 5 kategorií. (zdroj: autor)

Hodnota indexu	Slovní interpretace	Přepočtená hodnota indexu	Slovní interpretace
-4-0	Velmi suchá oblast	-4 – 3,5	Velmi suchá oblast
1-7	Středně suchá oblast		
8-14	Mírně suchá oblast	3,51 – 14,9	Suchá oblast
15-21	Oblast s vyrovnanou bilancí	15 – 21	Oblast s vyrovnanou bilancí
22-28	Mírně vlhká oblast	21,1 – 32,5	Vlhká oblast
29-35	Středně vlhká oblast		
>35	Velmi vlhká oblast	32,51 <	Velmi vlhká oblast



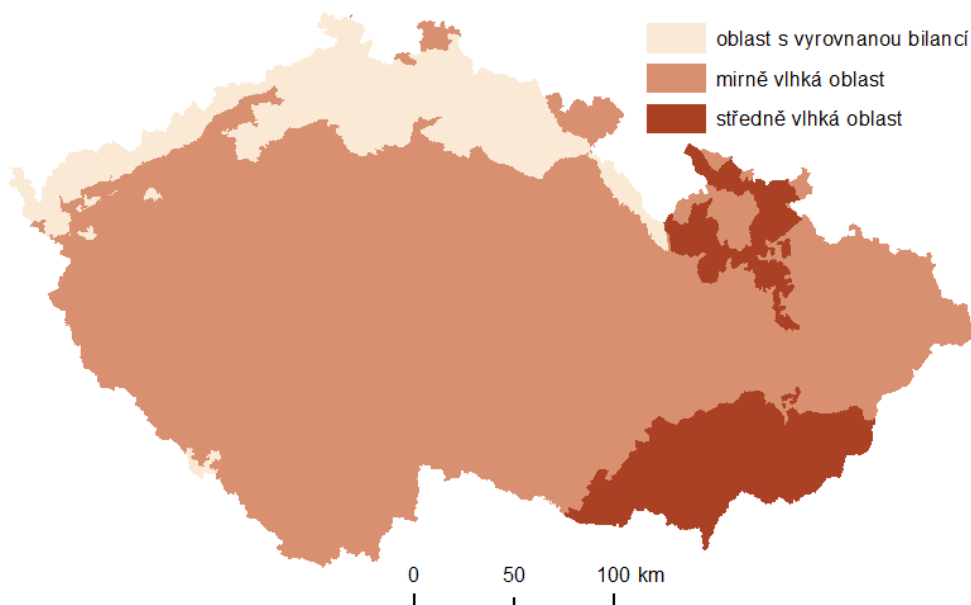
Obr. 15 – Výsledek reklasifikované Minářovy vláhové jistoty nad daty CzechGlobe vlevo a Wordclim vpravo. (zdroj: autor)

4.2.3 Standardizovaný srážkový index

Výpočet tohoto indexu je podstatně komplikovanější než u předešlých příkladů. Pomocí měsíčních úhrnů srážek jednotlivých datových vrstev byly vypočteny parametry gama rozdělení alfa a beta pomocí níže uvedeného vzorce:

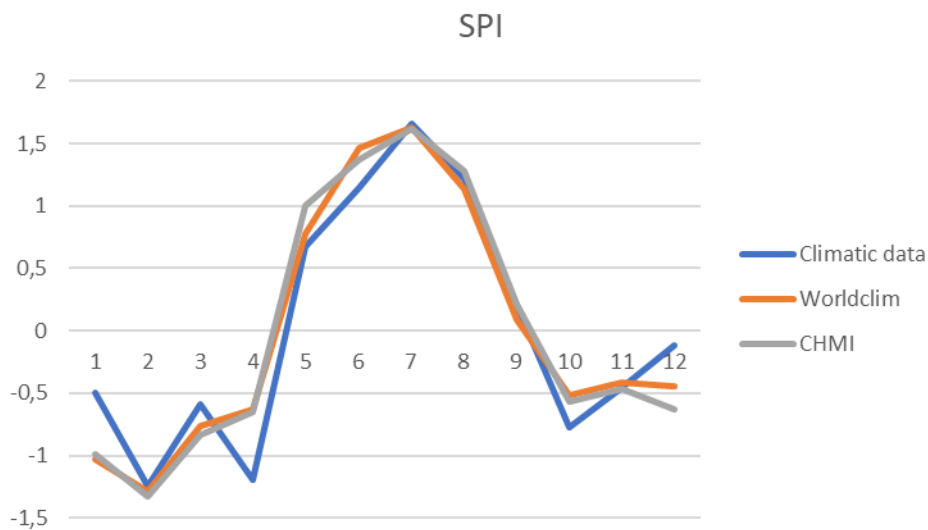
$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt[3]{1 + \frac{4A}{3}} \right), \text{ kde } A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln x}{n} \text{ a kde } \hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}. \quad (3)$$

Následně byla vypočtena hodnota gama rozdělení pro jednotlivé hodnoty. Tento výsledek byl následně standardizován a tím určen výsledek indexu SPI. Jelikož tento index není přímo určen k hodnocení bilancí, nýbrž k hodnocení samotné časové řady dat. Jelikož nástroj raster calculator v programu ArcMap nepodporuje tyto pokročile statistické operace, bylo nutné překrýt datovou vrstvu Worldclim náhodně vygenerovanou vrstvou bodů. Pro vybrání datového vzorku a udržení výpočetní kapacity byla vytvořena síť 20ti tisíc bodů. Posléze s vrstvou bylo pracováno obdobně jako s vrstvou stanic ČHMÚ nebo vrstvou dat z CzechGlobe a výpočtové operace probíhaly v programu MS Excel. Pro znázornění výsledných hodnot v prostoru byl z vygenerovaných bodů interpolován povrch ukazující výsledek v prostoru. Jelikož index hodnotí spíše rozdíly mezi měsíci samotnými není vidět velká variabilita. Na obr. 16 lze vidět výsledek indexu SPI v měsíci červen. Je vidět, že velká část území se v tomto měsíci jeví jako mírně vlhká až středně vlhká oblast.



Obr. 16 – Zobrazení hodnot indexu SPI v měsíci červen z dat Czechglobe. (zdroj: autor)

Na grafu 4 jsou znovu znázorněny měsíční hodnoty indexu SPI z jednotlivých datových sad. Je patrné, že výsledek indexu z dat CzechGlobe se v některých měsících liší od ostatních datových sad.



Graf 4 – Porovnání průběhu měsíčních hodnot. (zdroj: autor)

4.2.4 Standardizovaný evapotranspirační index

Výpočet indexu SPEI je velmi podobný indexu SPI. Rozdílem ovšem je, že zde vstupuje faktor evapotranspirace, která byla vypočítána pomocí Thorntwaitovy metody. Ta je vypočítána jako:

$$E_o = 1,6 \left(\frac{10 \times T_m}{I} \right)^a \quad [\text{mm/den}] \quad \text{kde:} \quad (13)$$

E_o – potenciální evapotranspirace za ideální měsíc,

T_m – průměrná měsíční teplota vzduchu [°C],

I – teplotní index, získaný součtem dvanácti hodnot měsíčních indexů t_j :

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad (14)$$

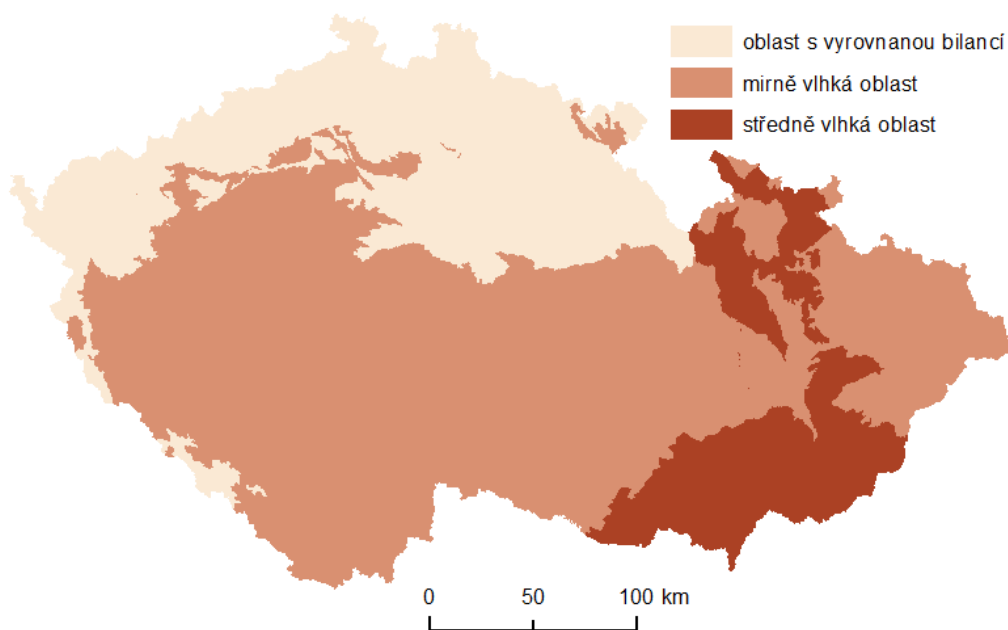
$$i_j = (T_j/5)^{1,514}$$

T_j = průměrná měsíční teplota s vzduchu pro danou lokalitu [°C],

a – exponent vypočítaný podle: $a = (0,0675x^3 + 7,71x^2 + 1792xI + 47239) \times 10^{-5}$.

Po výpočtu evapotranspirace je její hodnota odečtena od hodnoty srážek. A výsledná hodnota vstupuje do výpočtu gama rozdělení, které je následně standardizováno a tím je získána hodnota indexu SPEI. Pro výpočet v programu MS excel byly využity vytvořené vrstvy bodů reprezentující datovou sadu Worldclim, vrstva stanic ČHMÚ i vrstva dat CzechGlobe. Na obrázku 17 opět vidíme výsledek indexu SPEI

v měsíci červen. Oproti předchozímu příkladu je patrné, že díky vstupnímu faktoru evapotranspirace je tentokrát větší území vyhodnoceno jako oblast s vyrovnanou bilancí v tomto měsíci.



Obr. 17 – Zobrazení hodnot indexu SPEI v měsíci červen z dat Czechglobe. (zdroj: autor)

V grafu 5 je zobrazen vývoj měsíčních hodnot indexu SPEI. Výsledek je velmi podobný indexu SPI a hodnoty vypočtené z dat CzechGlobe se opět v některých měsících liší od ostatních výsledků.



Graf 5 – Porovnání průběhu měsíčních hodnot. (zdroj: autor)

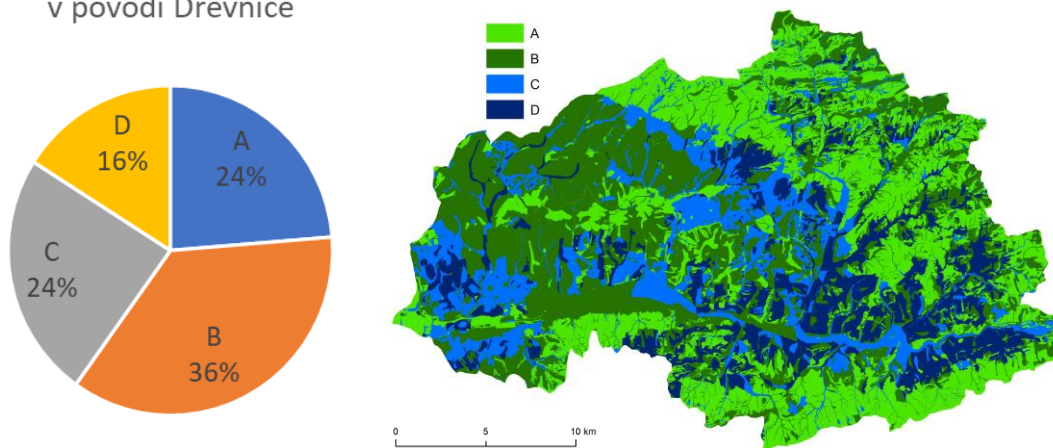
4.3 Aplikace vyvíjené modifikace metody CN křivek

V této části kapitoly je popsán postup tvorby vstupních dat pro metodu CN křivek a jejich výpočet. Podle metodiky uvedené v kapitole 3.6 vstupují do výpočtu data o hydrologické skupině půd, landuse a vlhkostní (srážková) data. Modelování je provedeno v lokálním měřítku povodí Dřevnice.

4.3.1 Vstupní data

První vstupní datovou vrstvou je vrstva znázorňující hydrologickou skupinu půd (dále HSP), která se dělí do 4 kategorií. Pro tvorbu této vrstvy byla použita vrstva BPEJ. Kategorie HSP byly určeny pomocí druhého a třetího čísla BPEJ, které vyjadřují hlavní půdní jednotku. U lesních ploch byly HSP určeny na základě lesnické typologie. K popisu lesních porostů je možné využít lesní typy, jejich označení se skládá z trojmístného kódu – první číslo značí vegetační stupeň, písmeno na druhém místě půdní kategorii a poslední číslo pořadové číslo lesního typu v rámci přírodní lesní oblasti. Pomocí převodního klíče se soubory lesních typů převedou na geobiocény, a poté za použití převodního klíče HPJ na pravděpodobné trofické a hydrické řady k získání kódu HPJ, na jejichž základě je přiřazena hydrologická skupina půd k prozatím nevyřešeným lesním pozemkům. Tato vrstva byla následně pomocí nástroje ořezána na zájmové území pro tuto metodu viz graf 6 a obr. číslo 18 ukazující rozdělení HSP v povodí.

Rozdělení hydrologické skupiny půd
v povodí Dřevnice



Graf 6 a obr. 18 – Diagram rozdělení HSP v povodí Dřevnice. (zdroj: autor)

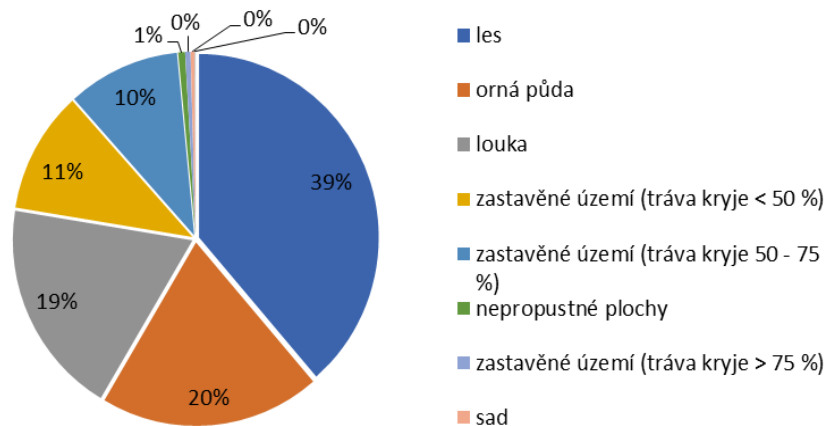
Druhá vstupní vrstva landuse vznikla složením několika dílčích vrstev. Mezi ně patří Ortofotomapa od ČÚZK, veřejný registr půdy LPIS zpracovaný Ministerstvem zemědělství, mapa bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ) z Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd (VÚMOP), mapa souboru lesních typů z Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa (ÚHÚL), data OpenStreetMap (OSM) a data z digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD), která poskytuje Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, veřejná výzkumná instituce (VÚV T.G.M.,v.v.i.).

Prvním vstupem pro tvorbu landuse byl veřejný registr půdy (LPIS), který sloužil při identifikaci extravilánu pomocí atributů druhu využití pozemků (trvale travnatá plocha, orná půda). Vrstva LPIS je zdarma dostupná na webovém portálu Ministerstva zemědělství. Dalším vstupem byla mapa souboru lesních typů obdržena od vedoucího práce. Vodní plochy byly převzaty z DIBAVOD opět zdarma dostupné na webovém portále. Plochy především intravilánu byly pomocí programu QGIS a nástroje QuickOSM staženy z OpenStreetMap i s atributem udávajícím druh využití půdy. Tato datová část a zbytek oblastí nepokrytých uvedenými datovými sadami byla manuálně překontrolována a zařazena pomocí ortofoto mapy, která byla připojena pomocí WMS služby. Po spojení všech vrstev byly kategorie datových sad převedeny na kategorie landuse použité v metodice CN křivek viz tabulka 10 níže. Další popisující informace o landuse v povodí Dřevnice jsou v grafu 7 níže a na obrázku č. 19.

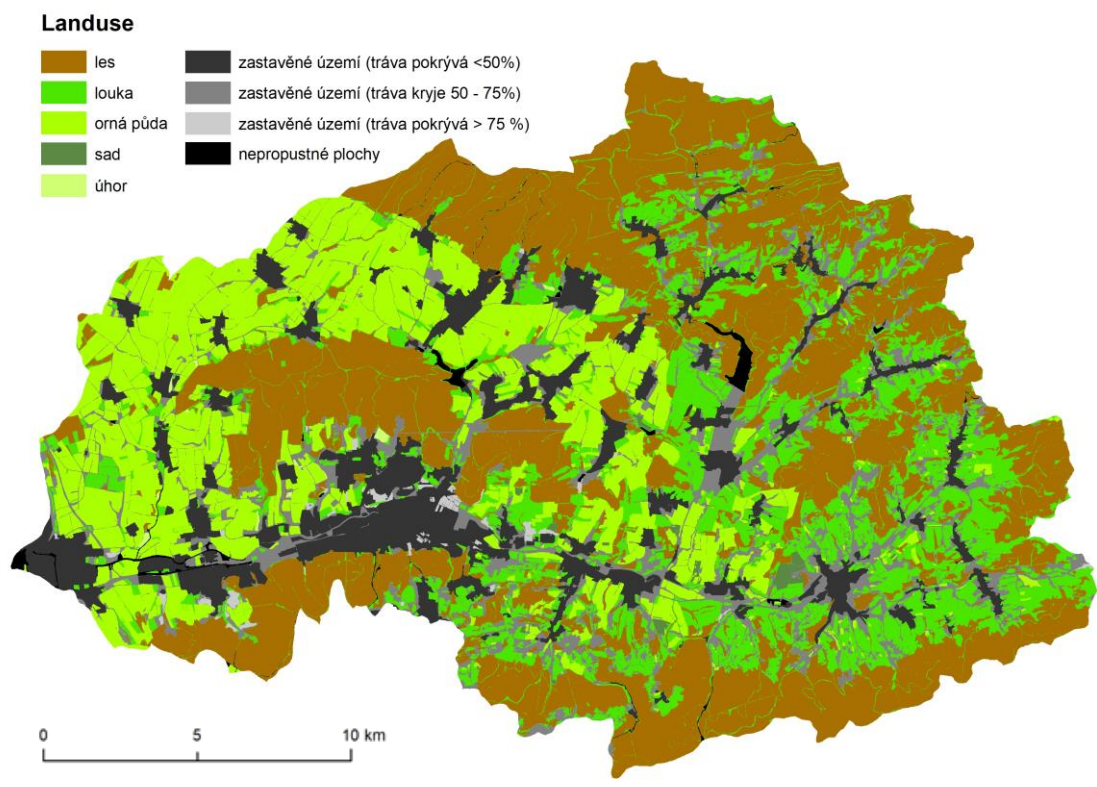
Tab. 10 – Určení landuse ze vstupních dat. (zdroj: autor)

Zdroj dat	Kategorie	Landuse
LPIS	trvalý travnatý porost	louka
	orná půda	orná půda
	úhor	úhor
ÚHÚL	soubor lesních typů	les
DIBAVOD	vodní plochy	nepropustné plochy
OpenStreetMap/WMS	cemetery/industrial/residential/railway	zastavěné území (tráva pokrývá <50%)
	ostatní plochy	zastavěné území (tráva kryje 50 - 75%)
	village green/allotements	zastavěné území (tráva pokrývá > 75 %)
	farmland/maadow/orchard/forest	louka

Rozdělení landuse v povodí Dřevnice



Graf 7 – Rozdělení landuse v povodí Dřevnice. (zdroj: autor)

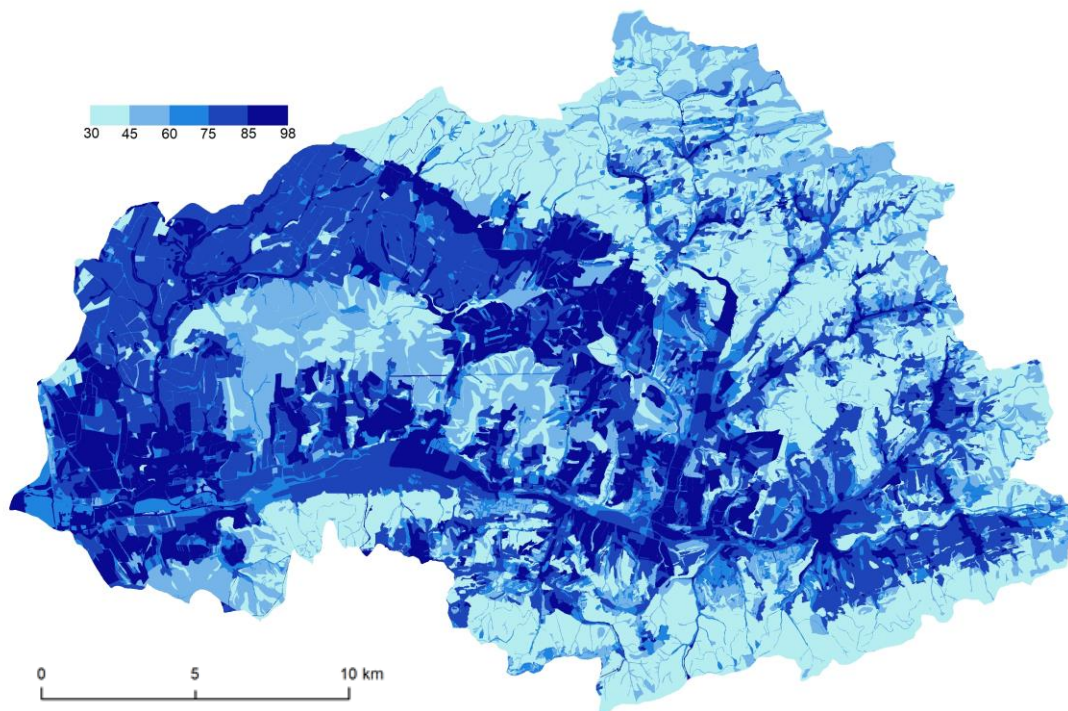


Obr. 19 – Landuse v povodí Dřevnice. (zdroj: autor)

Následujícím krokem pro výpočet metody CN křivek je určení CN hodnot na základě znalosti landuse a hydrologické skupiny půd viz obr. 20. Pro odvození hodnot byla použita tabulka 11 níže. Hodnoty byly převzaty z tabulky metodiky CN křivek, pro plochy, které se vyskytují na zájmovém území povodí Dřevnice.

Tab. 11 – Přiřazení CN hodnot (zdroj: vedoucí práce)

Typ povrchu	Hydrologická skupina půd			
	A	B	C	D
zastavěné území (tráva pokrývá <50%)	68	79	86	89
zastavěné území (tráva kryje 50 - 75%)	49	69	79	84
zastavěné území (tráva pokrývá > 75 %)	39	61	74	80
nepropustné plochy	98	98	98	98
úhor	77	86	91	94
orná půda	72	81	88	91
louky	30	58	71	78
lesy	45	66	77	83
sady	57	73	82	86



Obr. 20 – Hodnoty CN v povodí Dřevnice. (zdroj: autor)

Třetí vstupní vrstvou jsou data o vlhkosti půdy čili srážková data z dat CzechGlobe a Worldclim. Ta byla už použita při výpočtu indexů meteorologického sucha a oříznuta na zájmové území povodí Dřevnice.

4.3.2 Výpočet

Prvním krokem výpočtu je stanovit aktuální ukazatel počáteční ztráty (I_a) podle vztahu (Mishra a kol., 2006):

$$\begin{aligned}
 S &= (25400 / CNx) - 254 \\
 M &= ((P_{30} - 0,2 * S) * S) / (P_{30} + 0,8 * S) \\
 I_a^A &= (\lambda * S^2) / (S + M)
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

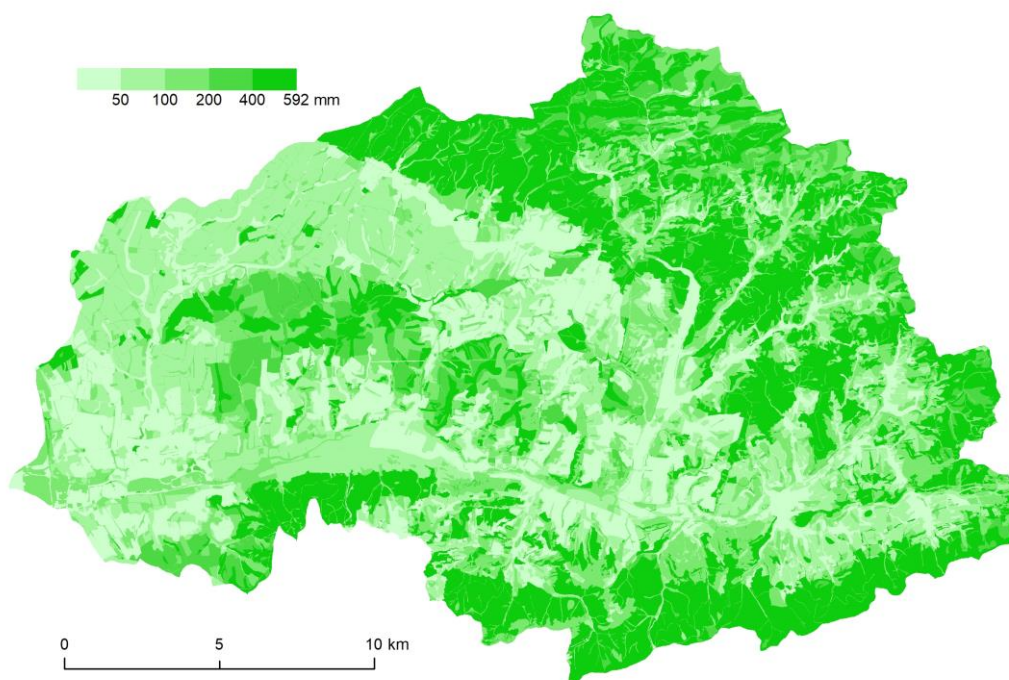
M = vlhkost z předchozích srážek,

I_a^A = aktuální ukazatel počáteční ztráty,

λ = soubor jednotlivých I_a [cm] = 0,2,

S = maximální potenciální retence vody v území,

P_{30} = kumulativní výška (úhrn) srážky [mm] v předchozích 30ti dnech = (UPS_{30}) .



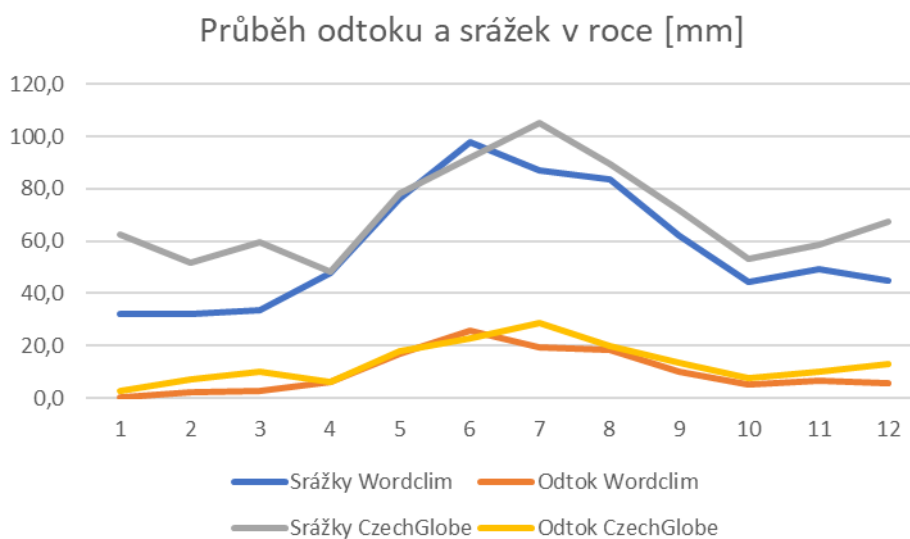
Obr. 21 – Hodnoty maximální potenciální retence v povodí Dřevnice. (zdroj: autor)

Na obr. 21 výše je znázorněný výsledek hodnoty parametru S, který je ve finálním zpracování porovnán s některými infexy klimatického sucha. Druhým krokem výpočtu je stanovit aktuální výšku odtoku [mm] pomocí vztahu:

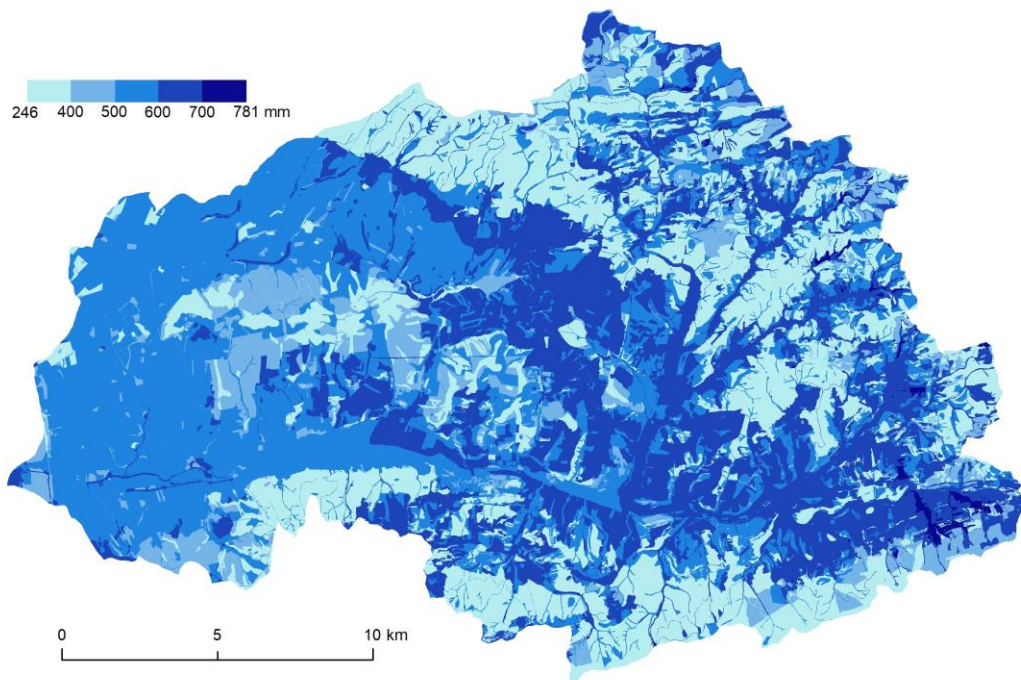
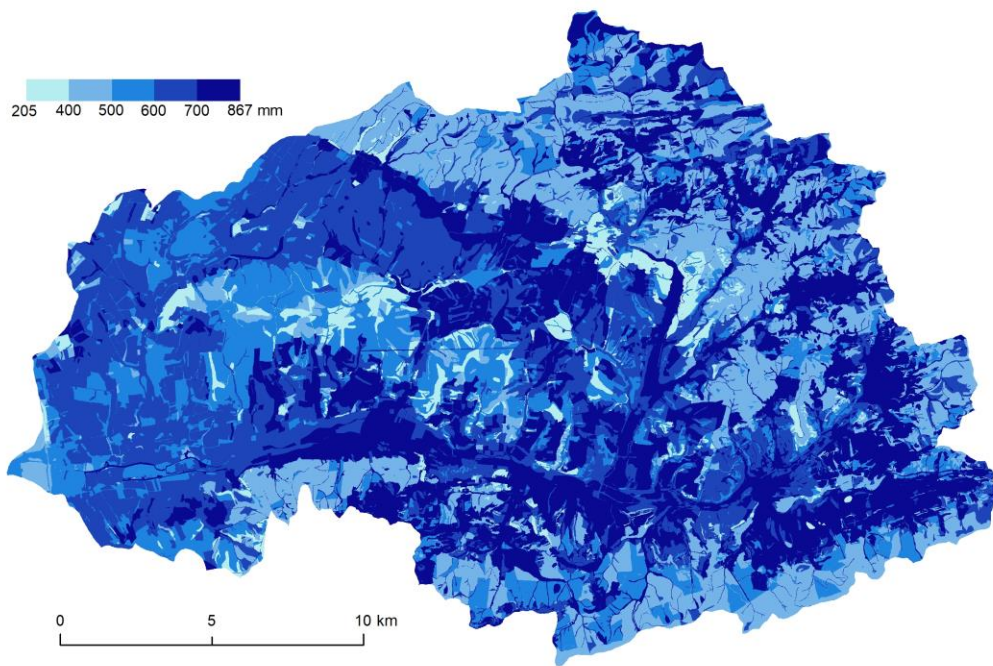
$$Q = (P - Ia)^2 / (P - Ia + S) \quad (16)$$

Q = povrchový (hortonovský) odtok [mm],
P = aktuální srážky [mm].

Výsledky tohoto výpočtu nad oběma datovými sadami jsou uvedeny na grafu 8 a obrázku č. 22



Graf 8 – Průběh měsíčních hodnot odtoku a srážek. (zdroj: autor)

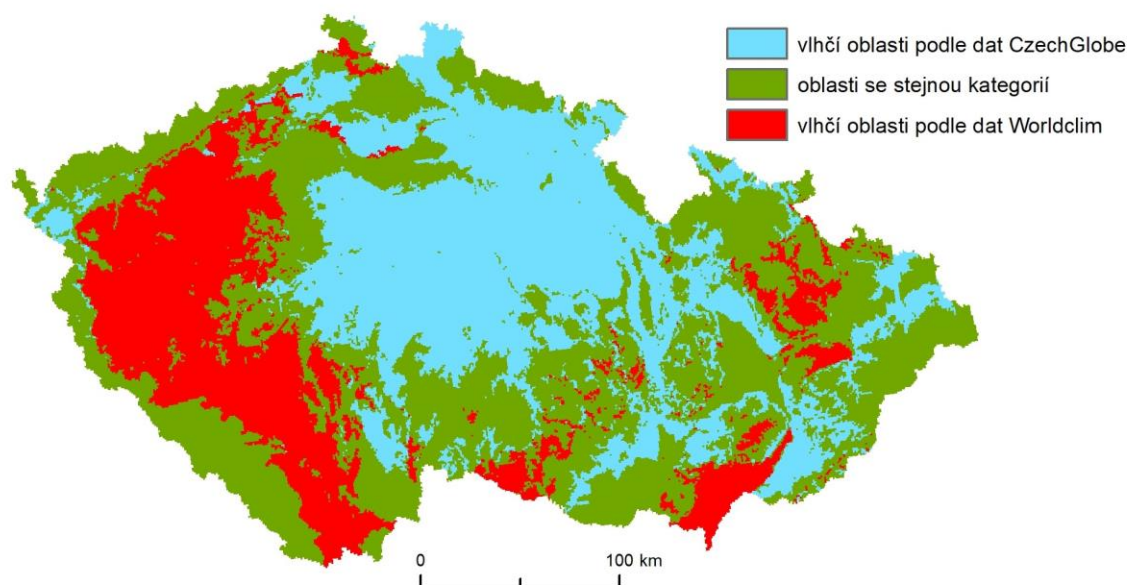


Obr. 22 – Odtok vypočítaný z dat CzechGlobe a Worldclim. (zdroj: autor)

5 VÝSLEDKY

Mezi dílčí výsledky práce patří v teoretické části rešerše možností hodnocení sucha a v návaznosti v praktické části i popis výpočtu případně tvorba potřebných vrstev. V kapitole 4 jsou uvedeny i vizualizace výsledků jednotlivých použitých metod. Dalšími výstupy jsou i jednotlivé vrstvy a rastry s vypočtenými hodnotami indexů a ostatní vytvořená data, která jsou k dispozici na DVD, které je jako volná příloha k diplomové práci. V následující části kapitoly jsou výsledky porovnání metod hodnocení sucha a použitých datových sad.

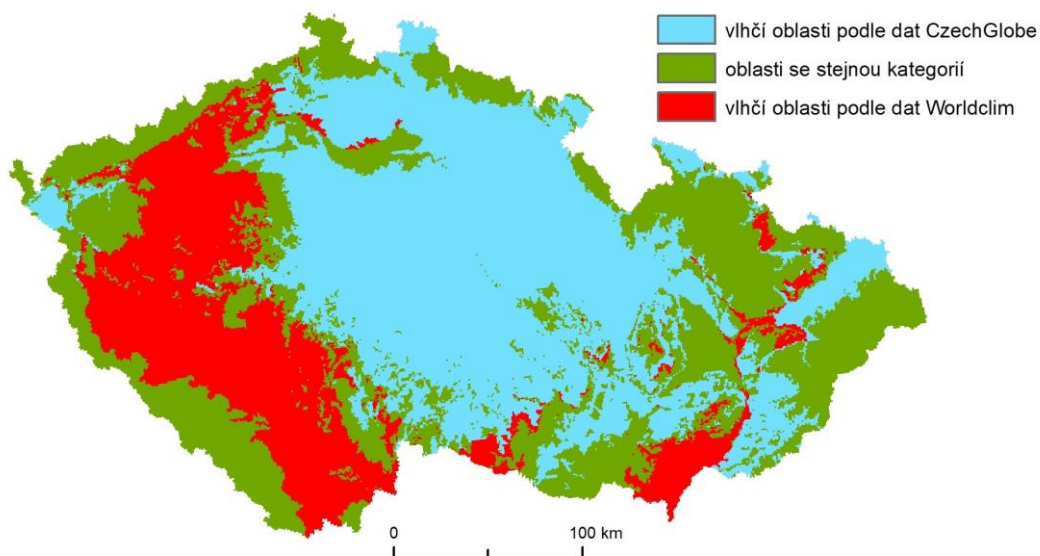
5.1 Výsledky porovnání indexů



Obr. 23 – LDF prostorové porovnání výsledků dat CzechGlobe a Worldclim.
(zdroj: autor)

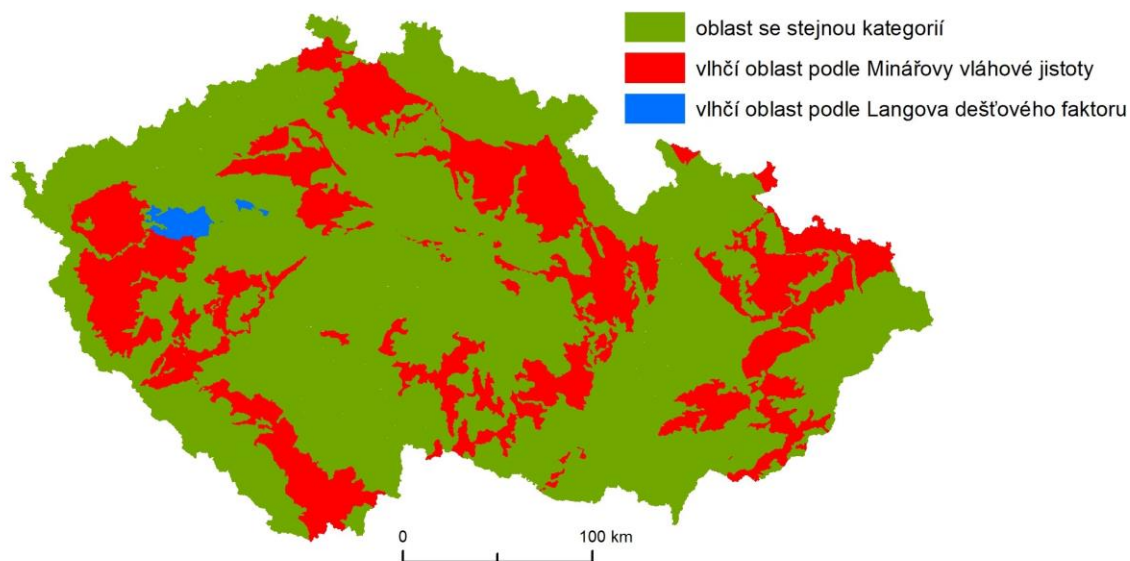
Na obrázku 23 výše je zobrazen prostorový překryv výsledků LDF nad daty CzechGlobe a Worldclim. Z výstupu je zřejmé, že především oblast středu území je vyhodnocena jako vlhčí podle dat CzechGlobe. A naopak západní část území vyšla vlhčí podle dat Worldclim. Tento rozdíl může být způsoben způsobem tvorby vrstvy pro zobrazení dat CzechGlobe, kdy jsou klimatická data pro lesní oblasti a vrstva lesních vegetačních stupňů s přírodními lesními oblastmi pro celou Českou republiku. Tím je výsledek klimatický dat pro lesy zanesen i do nížinatých oblastí, kde lesů značně ubývá.

Na obrázku 24 níže je zobrazeno prostorové vyhodnocení rozdílů Minářovy vláhové jistoty nad daty CzechGlobe a Worldclim. Opět vidíme podobný výsledek, co se týče dat Worldclim, avšak tentokrát je mnohem větší oblast, především na středu sledovaného území, vyhodnocena vlhčí podle dat CzechGlobe.



Obr. 24 – Minářova vláhová jistota - prostorové porovnání výsledků dat CzechGlobe a Worldclim. (zdroj: autor)

Na obrázku 25 níže je znázorněna překryvná operace oblastí, a zdalepak spadají do stejné kategorie, nebo jsou z pohledu jednoho ze dvou vyjádřených indexů vlhčí z dat CzechGlobe. Z výstupu je patrné, že velká část vlhčích oblastí podle Minářovy vláhové jistoty se nachází v podhůřích, nebo přechodných oblastech mezi jednotlivými kategoriemi v původních výstupech uvedených v kapitole 4.2. Rozdíl mezi kategoriemi nebyl větší než jedna. Procentuální zastoupení jednotlivých oblastí je uvedeno v tabulce 12.

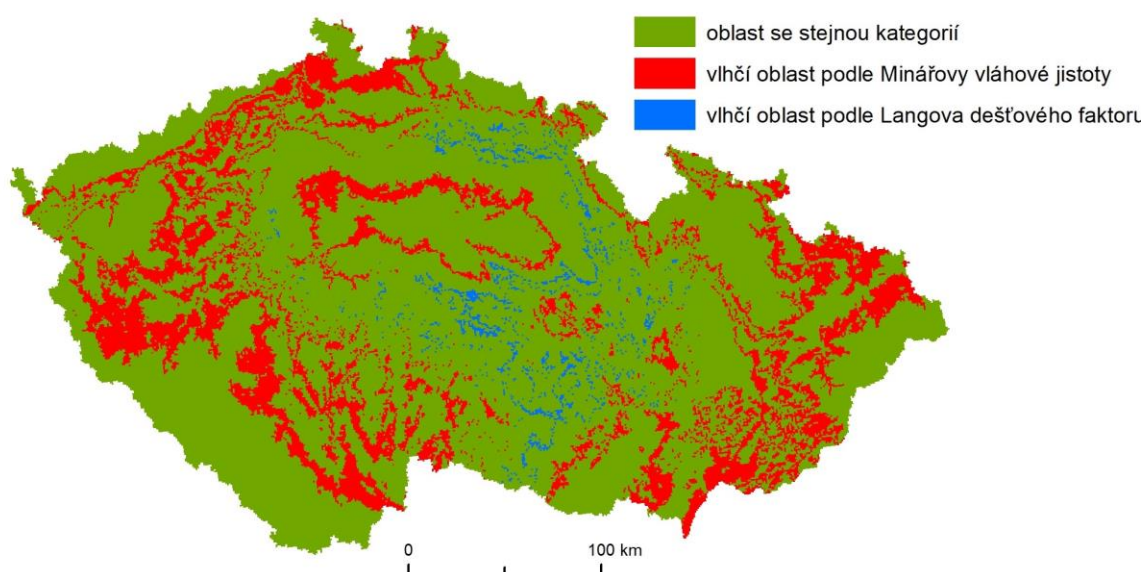


Obr. 25 – Výsledky prostorového překryvu LDF a reklasifikované Minářovy vláhové jistoty nad daty CzechGlobe. (zdroj: autor)

Tab. 12 – Procentuální zastoupení kategorií na území ČR. (zdroj: autor)

Czechglobe	Velmi suchá oblast	Suchá oblast	Oblast s vyrovnanou bilancí	Vlhká oblast	Velmi vlhká oblast
Lang	3,5	17,7	22,4	33,5	22,8
Minář	3,4	15,6	14,3	21,3	45,4

Další hodnocenou sadou byla datová sada Worldclim. Prvně byly hodnoceny výsledky indexů LDF a Minářova vláhová jistota. Opět bylo použito pět kategorií jako v předešlém příkladu.



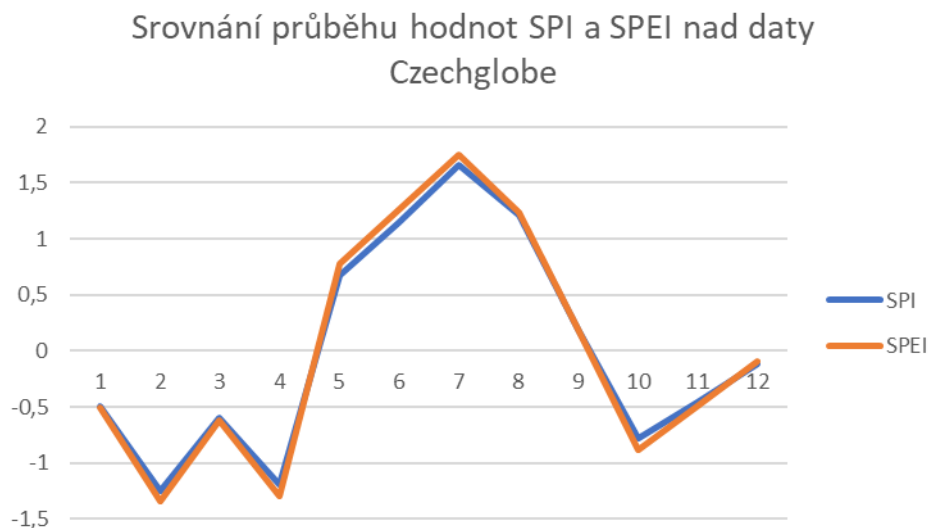
Obr. 26 – Výsledky prostorového překryvu LDF a reklasifikované Minářovy vláhové jistoty nad daty Worldclim. (zdroj: autor)

Na obrázku 26 výše je provedena překryvná operace výsledků z dat z Worldclim. Je zřejmé, že jako v předešlém porovnání vychází velká část hraničních oblastí jako vlhčích podle Minářovy vláhové jistoty. Procentuální zastoupení jednotlivých oblastí je uvedeno v tabulce 13.

Tab. 13 – Procentuální zastoupení kategorií na území ČR.

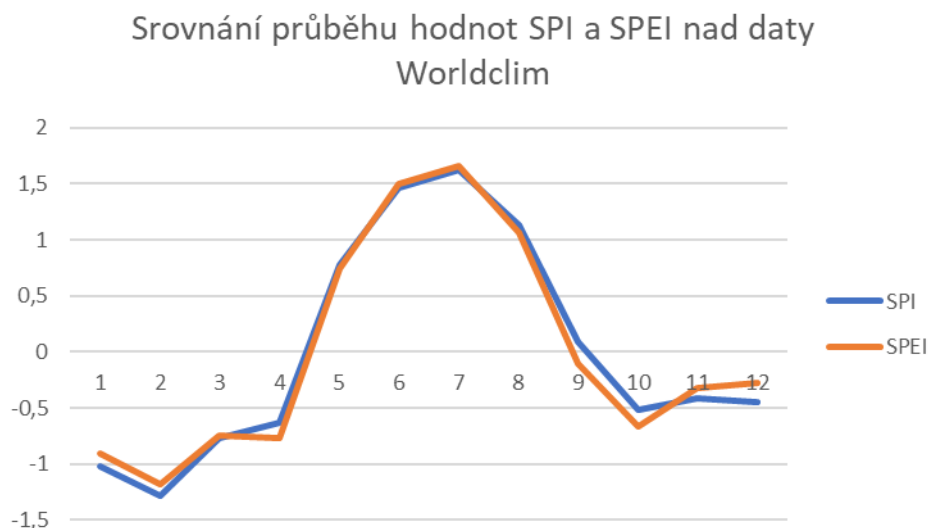
Worldclim	Velmi suchá oblast	Suchá oblast	Oblast s vyrovnanou bilancí	Vlhká oblast	Velmi vlhká oblast
Lang	9,1	17,4	19,2	31,6	22,7
Minář	6,1	20,1	15,3	24,8	33,8

Další krokem je vyhodnocení výsledků indexů SPI a SPEI. Jelikož tyto indexy se více zaměřují na hodnocení období ve sledované časové řadě, a ne přímo na hodnocení oblastí jako předešlé indexy, byly porovnány zvláště mezi sebou. Na grafu 9 níže je vidět, že v případě hodnot vypočítaných z dat Czechglobe dosahují hodnoty indexu SPEI větších lokálních maxim než hodnoty indexu SPI. Ovšem tyto rozdíly jsou natolik malé, že přiřazování jednotlivých kategorií to neovlivnilo.



Graf 9 – Srovnání průběhu hodnot indexů SPI a SPEI. (zdroj: autor)

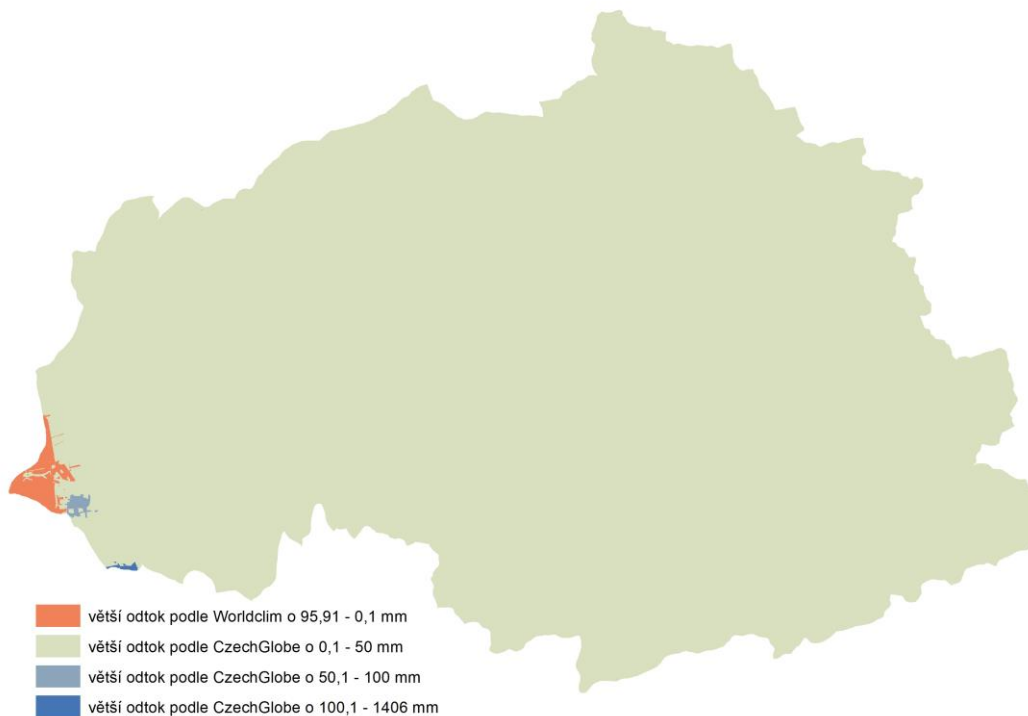
Na dalším grafu č. 10 je srovnán průběh ročních hodnot indexů vypočtených z dat Worldclim. V tomto případě se hodnoty povětšinou liší především na začátku a na konci roku. V měsících, ve kterých je očekávaná nízká teplota kolem nebo pod bodem mrazu, je index SPI reprezentován nižšími hodnotami než index SPEI.



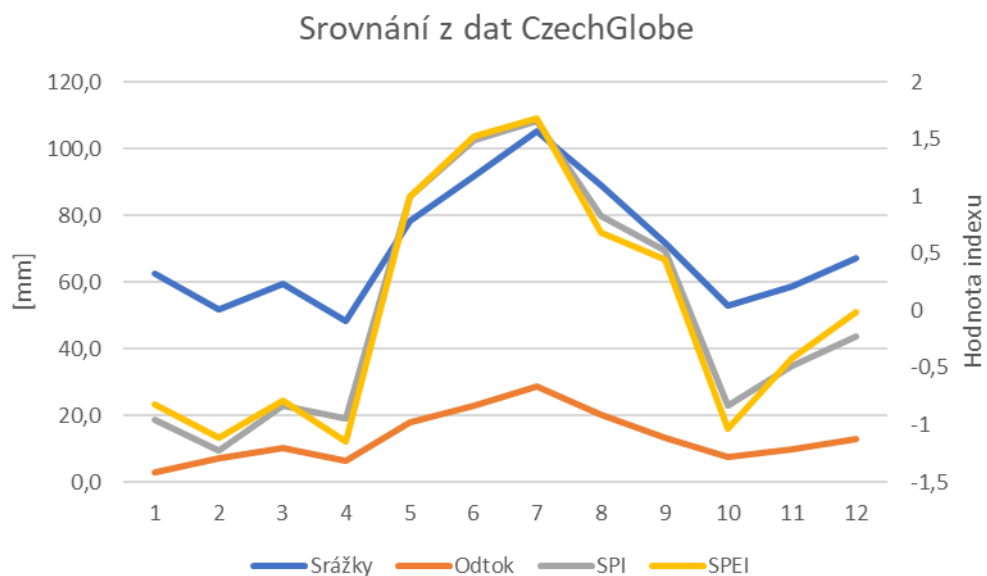
Graf 10 – srovnání průběhu hodnot indexů SPI a SPEI. (zdroj: autor)

5.2 Výsledky porovnání s metodou CN

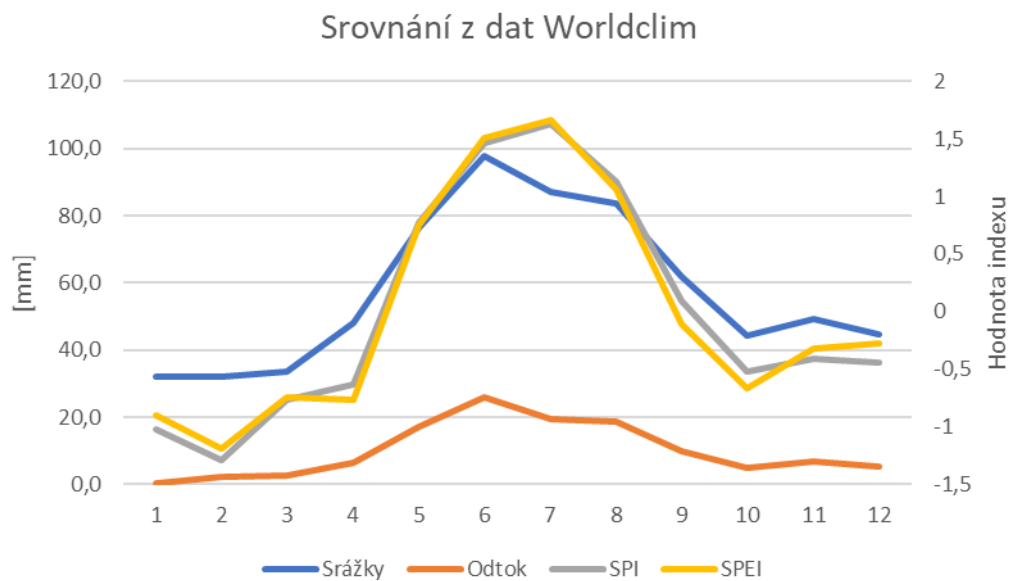
V této části jsou uvedeny výstupy týkající se metody CN křivek. Na obrázku 27 je znázorněn rozdíl mezi výsledky vypočítaného odtoku z dat CzechGlobe a Worldclim. Dále na grafech 11 a 12 vidíme výsledky měsíčních hodnot obou datových sad, a to od vstupních dat – srážek, až po výsledné hodnoty indexů SPI a SPEI, které popisují časovou řadu a vypočítaný odtok.



Obr. 27 – Rozdíl ve vypočítaném odtoku mezi dvěma datovými sadami. (zdroj: autor)



Graf 11 – Srovnání vstupních a výsledných hodnot z dat CzechGlobe. (zdroj: autor)



Graf 12 – Srovnání vstupních a výsledných hodnot z dat CzechGlobe. (zdroj: autor)

Tab. 14 – Hodnoty korelace sledovaných jevů a maximální potenciální retence. (zdroj: autor)

Datová sada/Sledovaný index	LDF	Minářova vláhová jistota
CzechGlobe	0,273	0,275
Worldclim	0,297	0,296

V tabulce 14 jsou uvedeny korelační koeficienty hodnot mezi výsledky maximální potenciální retence a indexy LDF a Minářova vláhová jistota vypočítané ze dvou datových sad nad vymodelovanými plochami landuse povodí Dřevnice. Z hodnot je zřejmé, že existuje velmi malý vztah mezi hodnotami potenciální retence vypočítané v rámci metody CN křivek a hodnotami indexů meteorologického sucha používaných pro popis oblastí. A zároveň větší korelace dosahují výsledky spočítané z dat Worldclim. Ovšem rozdíly jsou velmi malé. Jelikož korelační koeficienty nabývají hodnot blízkých nule, tudíž vztah mezi těmito proměnnými je velmi malý a dá se říct, že použití řešených metod a dat je především omezeno zájmovým územím a dostupností jednotlivých datových sad. Pro výpočty nad velkým územím týkající se republikového měřítka se hodí více indexy meteorologického sucha díky menší náročnosti na vstupní data a pro menší zájmové území dosahuje přesnějších výsledků metoda CN odtokových křivek.

6 DISKUZE

V průběhu řešení práce bylo objeveno hned několik problémů. Prvním z nich bylo při výběru dat. Bylo zjištěno, že ČHMÚ neposkytuje velký výběr dat zdarma. Byla tedy využita volně dostupná historická data z deseti stanic na území České republiky. Byly spočteny hodnoty jednotlivých indexů jak za roční, tak měsíční období, ale kvůli nedostatečnému prostorovému rozlišení byla tato datová sada z prostorových porovnání s ostatními vyřazena. V dalším průběhu práce po teoretickém studiu indexů meteorologického sucha bylo zjištěno, že některé indexy popisují spíše oblasti jako takové, a jiné zase hodnoty v časové řadě. Tím pádem musely být vytvořeny dvojice pro hodnocení indexů a následně je porovnat i s výsledky z metody CN křivek. Dále při výpočtu indexů SPI a SPEI z dat Worldclim muselo být využito extrakce hodnot z rastrových dat do bodové vrstvy, nad tou spočítány hodnoty těchto indexů a následně výsledky připojeny zpět k bodové vrstvě, která byla interpolována. Protože, indexy SPI a SPEI slouží spíše pro hodnocení rozdílů v časové řadě. Byla znázorněna hodnota jednoho měsíce pro tyto indexy v kapitole 4.2. Je z ní zřejmé, že velká část republiky se jeví v daném měsíci stejnou kategorií. Tento postup byl zvolen, jelikož v softwaru ArcGIS nebylo možné využít pokročilé výpočtové metody potřebné k získání výsledných hodnot indexů, především pro znázornění hodnot v grafech.

Jedním z původních postupů výpočtu indexů z dat CzechGlobe bylo využití vrstvy definující plošné lesní oblasti s lesními vegetačními stupni pouze v lesních oblastech ČR. Jelikož tato vrstva nepokrývala celé území republiky, byly hodnoty pro ostatní plochy interpolovány. Použití interpolace však vnášel do výsledku určitou nejistotu a nepřesnost. Po konzultaci s vedoucím práce bylo využito jednotlivé vrstvy PLO poskytnuté vedoucím práce a obrázkem znázorňující lesní vegetační stupně, který byl georeferencován a vektorizován. Vytvořená vrstva LVS byla zkombinována s vrstvou PLO a tím bylo dosaženo pokrytí celého území republiky jednou vrstvou podle PLO_LVS.

Při použití a následném porovnání metody CN křivek s indexy meteorologického sucha může být nevýhodou použití lokálního měřítka, jelikož oblasti využitě pro hodnocení sucha indexy, jsou především v případě využití vrstvy přírodních lesních oblastí a lesních vegetačních stupňů příliš velké a území povodí Dřevnice spadá z velké části do jedné oblasti. Lepší je tomu při použití dat z Worldclim, která se pohybují v rozlišení rastru 1x1km.

Zajímavým přístupem by mohla být aplikace metody CN křivek na území celé České republiky ačkoli je to velmi omezeno vytvořením kvalitní vrstvy využití území, jelikož taková data nejsou běžně dostupná.

Jelikož je sucho a nedostatek vody v krajině spojený jak se změnou klimatu, tak nevhodným obhospodařováním a využíváním krajiny, stává se v dnešní době velmi aktuálním tématem. Je zapotřebí se touto problematikou zabývat, jak při zjišťování stávajícího stavu, tak i hledat důvody, proč se tyto problémy v posledních letech zhoršují a jakým směrem se tato problematika ubírá. To se týká jak možností využití různých datových zdrojů, tak použití odlišných metod a následná interpretace výsledků a výstupů veřejnosti, aby mohly být provedeny řádné opatření, která by mohla tuto problematiku řešit.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo modelovat dostupnost vody v krajině. Modelování bylo provedeno ve třech rovinách:

- a) aplikací algoritmů dostupných v produktech ArcGIS, QGIS a SAGA,
- b) aplikací vyvíjené modifikace metodiky CN křivek a
- c) aplikací indexů pro výpočet meteorologického sucha v prostředí GIS. Prvním krokem při zpracování bylo upravit vstupní data pro jednotlivé použité metody. Klimatická data o srážkách a teplotách byla buď stažena z volně dostupných zdrojů, ČHMÚ a Worldclim, nebo obdržena od vedoucího práce, data označována v práci podle zdroje CzechGlobe.

Dále bylo postupně podle zadání nejprve provedeno vyhodnocení nástrojů v dostupných geoinformačních softwarech v kapitole 4.1. Následně byly využity nabyté informace z teoretické části práce při výpočtu indexů meteorologického sucha, jimiž byly Langův dešťový faktor, Minářova vláhová jistota, Standardizovaný srážkový index a Standardizovaný evapotranspirační index. Všechny indexy byly spočítány ze tří uvedených datových sad. S daty Worldclim bylo pracováno při výpočtech LDF a Minářovy vláhové jistoty v rastru a při výpočtu indexu SPI a SPEI bylo využito možnosti převedení hodnot rastru do bodové vrstvy obsahující 20 000 bodů s extrahovanými hodnotami. Data CzechGlobe byla agregována podle rozdělení LVS a PLO. Proto bylo zapotřebí vytvořit vrstvu kombinující tyto dvě složky pro území celé republiky. Jelikož data ČHMÚ obsahovala pouze hodnoty z deseti stanic na území České republiky, byly tyto výsledky z dalšího prostorového hodnocení eliminovány. Ačkoliv při grafickém porovnání měsíční hodnoty dosahovaly téměř stejných výsledků. Postup výpočtu a ukázky výsledků jsou obsaženy v kapitole 4.2.

Poslední použitou metodou při modelování dostupnosti vody byla metoda CN křivek. Zájmovým územím bylo zvoleno povodí Dřevnice. Jelikož tato metoda vyžaduje více vstupních dat, mezi nimiž je informace o landuse a hydrologické skupině půd, musely být tyto vrstvy vytvořeny. Postupnými kroky výpočtu byly vytvořeny vrstvy maximální potenciální retence a povrchového odtoku vypočítaného z dat Worldclim a CzechGlobe viz kapitola 4.3.

Následně byly výsledky mezi sebou porovnány, co se týče použitých datových sad i jednotlivých typů použitých metod viz kapitola 5. Z výsledků a výstupů je patrné, že výsledky z dat Worldclim hodnotí více oblastí jako vlhkých. Dále pak i výsledky porovnání indexů Minářovy vláhové jistoty a LDF ukazují, že Minářova vláhová jistota hodnotí oblasti více oblastí vlhkých. V porovnání měsíčních hodnot indexů SPI a SPEI dosahují indexy podobných hodnot z obou datových sad. V posledním případě byl porovnán vztah mezi hodnotami maximální potenciální retence a indexů LDF a Minářovy vláhové jistoty nad vytvořenými plochami landuse. Bylo zjištěno, že není významný vztah mezi těmito proměnnými. V poslední řadě porovnání měsíčních hodnot průběhu odtoků vody, finálního výpočtu při využití metody CN křivek s hodnotami indexů SPI a SPEI nebyly zjištěny rozdíly v průběhu hodnot v rámci sledovaných jevů.

Obecně se dá říct, že využití zkoumaných metod pro hodnocení sucha a modelování dostupnosti vody je závislé na možnostech při získání vstupních dat pro zájmové území. Pro území malého měřítka se jeví jako přesnější metoda CN křivek, na druhou stranu pro velkoměřítkové studie může být obtížné získat potřebnou kvalitu vstupních dat. Současně bylo zjištěno, že rozdíly mezi použitými datovými sadami Worldclim a Czechglobe nejsou tak velké, aby bylo zapotřebí za každou cenu sahat po komerčních datech. Cíle práce byly zcela naplněny.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

ALLEN, R. G., Et. Al. *Crop evapotranspiration —guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization. Rome, 1998. ISBN 80-85368-45-5.

BAKYTOVÁ, H. et al.: *Základy statistiky*. 1. vydání, Alfa, Bratislava, 1975.

BIČÍK, Ivan, Lucie KUPKOVÁ, Leoš JELEČEK, Jan KABRDA, Přemysl ŠTYCH, Zbyněk

JANOUSEK a Jana WINKLEROVÁ. *Land use changes in the Czech Republic 1845-2010: socio-economic driving forces*. Cham: Springer, [2015]. Springer geography. ISBN 978-3-319-17670-3.

BLAŽEK V., 2006: *Voda v České republice*. Consult. Praha. 253 s. ISBN 80-903-4821-1.

BRÁZDIL, R., Trnka, M. a kolektiv (2015): *Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost*. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 s. ISBN 978-80-87902-11-0.

BRÁZDIL, Rudolf a Miroslav TRNKA. *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost*. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, 2015. ISBN 978-80-87902-11-0.

CRITCHFIELD, H. J.: *General Climatology*. 4. vyd., Englewood Cliffs, NJ: č. 8, s. 1149–1165.

DJOKIC, D., MAIDMENT, D.R. (2000): *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with GIS*. Redlans: ESRI Press. 232 pp.

Doležal F., Soukup M., Kulhavý Z.: *Bilanční odhady příspěvku odvodňovacích soustav k průběhu povodní. II. Aplikace. Soil and Water 3/2003, vědecké práce VÚMOP Praha, 2003, ISSN 1213-8673, s.93-108*

DRLIČKA, Radek. *SUCHA NA MORAVĚ A VE SLEZSKU*. Brno, 2004. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Prof. RNDr. Rudolf BRÁZDIL, DrSc.

EDWARDS, D.C.; T. B. MCKEE. 1997. *Characteristics of 20th century drought in the Geographical Review* 38:55- 94.

GUERRA C.A et al. *An assessment of soil erosion prevention by vegetation in Mediterranean Europe: Current trends of ecosystem service provision*. Ecik, Indocator 60. 2016

HUBAČÍKOVÁ V., 2002, *Hydrologie*, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita

JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika*. Praha: ČZU, 2012, 113s.

KEYANTASH, J., DRACUP, J. A.: *A review of twentieth-century drought indices*

KOLEKTIV AUTORŮ. *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*, In: *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 15, No. 3, 259-263 [online]. Biometeorology Group, University of Veterinary Medicine Vienna, Vienna, Austria; Global Precipitation Climatology Centre, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany, 2006.

KONČEK, M. *Index zavlaženia*. Meteorologické zprávy, 1955, roč. VIII, č. 4, s. 96-99.

KRAVKA, M., MARKOVÁ, J., DOMOKOŠOVÁ, K., FIALOVÁ, J. a VYSKOT, I. *Základy lesnické a krajinářské hydrologie a hydrauliky*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. 113 s. ISBN 978-80-7375-338-2.

KUNDRÁTOVÁ, Klára. *Vyhodnocení základních hydrologických charakteristik vybraného povodí*. Brno, 2016. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Mašíček, Ph.D.

KUNŠTÁCKÝ, J. & Patočka, C., 1966. *Základy hydrauliky a hydrologie pro inženýrské konstrukce a dopravní stavby: celostátní učebnice pro vysoké školy*, Praha: SNTL. Available at: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:11211b40-18bf-11e4-8f64-005056827e52>.

LITSCHMANN T., KLEMENTOVÁ E., ROŽNOVSKÝ J. (2001): Palmerův index závažnosti sucha a jeho použití v našich podmínkách. poster, in: *Transport vody, chemikálií a energie v systéme pŕoda-rastlina-atmosféra*, Bratislava 29.11. 2001.

LLOYD-HUGHES, BENJAMIN a MARK A. SAUNDERS. A DROUGHT CLIMATOLOGY FOR EUROPE. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*. 2002.

MATOUŠEK, Václav. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních deštů*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2010. ISBN 978-80-87402-08-5.

NOVÁK, V. 1995. *Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania*. 1. vyd. Bratislava: Veda, 1995. 253 s. ISBN 80-224-0409-8.

of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.

PALMER, W.C. 1965. *Meteorological drought*. Research Paper No. 45, U.S. Department

PENKA, M. 1985. *Transpirace a spotřeba vody rostlinami*. 1. vyd. Praha: Academia, 1985. 250 s.

PENMAN, H. L. 1948. *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proceedings of the Royal Society of London A, 1948, roč. 193, č. 1032, s. 120–146.

Prentice-Hall, Inc., 1983. 453 s. ISBN 0133492176

ROŽNOVSKÝ, Jaroslav. *Sucho na území České republiky*. ŽIVA. Nakladatelství Academia, SSČ AV ČR, v. v. i., 2014(1).

SAGA: *System for Automated Geoscientific Analyses* [online]. [cit. 2019-08-03]. Dostupné z: <http://www.saga-gis.org/en/index.html>

SINGH, V.P., fiorentino, M. eds. (1998): Geographical information systems in hydrology. Water science and technology library. WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY LIBRARY 26 Kluwer Academic Publishers 464 pp.

SOBÍŠEK, B. a kolektiv, 1993: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha, 594 s. ISBN 80-85368-45-5.

STŘEDOVÁ, H. et. al. 2013: Predispozice výskytu sucha ve vybraných aridních oblastech České republiky. In ROŽNOVSKÝ, J. -- LITSCHMANN, T. -- STŘEDOVÁ, H. –

STŘEDA, T. Voda, půda a rostliny. 1.vyd. Praha: ČHMÚ, s.1--10. ISBN 978-80-87577-17-2.

ŠMELÍK, Lukáš. Analýza změn odtokových poměrů pro Českou republiku. *VTEI*. **2016**(4).

THORNTON, C.W. 1948. *An approach towards a rational classification of climate*.

TRNKA M., Et. Al., 2003: Selected methods of drought evaluation in South Moravia and Northern Austria. in: XI. International poster day ("Transport of water, chemicals and energy in soil-crop-atmosphere system"), Bratislava, Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Slovakia, ISBN 80-89139-02-7

TRNKA, Miroslav, Jan BALEK, Petr ŠTĚPÁNEK, Pavel ZAHRADNÍČEK, Martin MOŽNÝ, Josef EITZINGER, Zdeněk ŽALUD, Herbert FORMAYER, Maroš TURŇA, Pavol NEJEDLÍK, Daniela SEMERÁDOVÁ, Petr HLAVINKA a Rudolf BRÁZDIL. Drought trends over part of Central Europe between 1961 and 2014. *Climate Research*, 2016, roč. 70, 2-3, s. 143-160. ISSN 0936-577X. doi:10.3354/cr01420.

Ústav výzkumu globální změny AV ČR. *Intersucho* [online]. 2019 [cit. 2019-08-03]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz> v Brně, Brno, 43 s., ISBN 80-7157-638-7

WILLEKE, G., et. al., 1994. The National Drought Atlas. Institute for Water Resources Report 94–NDS–4, U.S. Army Corps of Engineers. *United States at multiple time scales*. Climatology Report Number 97–2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, roč. 83,

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Volné přílohy

Příloha 1 Poster

Příloha 2 DVD